

Treball de Fi de Grau

**Grau en Enginyeria de Tecnologies Industrials**

**Caracterització de cicles de conducció de vies de  
Barcelona per estimar les emissions de contaminants**

**MEMÒRIA**

**Autor:** Pol Masclans Abelló  
**Director:** M. Antonia de los Santos Lopez  
**Convocatòria:** Gener 2018



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resum

En aquest document es presenta el treball realitzat per tal d'obtenir la caracterització de diferents cicles de conducció en diverses vies de Barcelona, a partir de dades experimentals, a fi d'estimar el consum de combustible dels vehicles que hi circulen i les emissions de contaminants produïdes per aquests. El projecte planteja una metodologia completa, des de l'obtenció de les dades reals per a la caracterització dels cicles fins a l'obtenció i l'anàlisi dels resultats finals. S'han fet servir programes de simulació a fi d'obtenir, per a un determinat vehicle, el consum i les emissions d'Òxids de Nitrogen (NOx) i Partícules en Suspensió (PM). Així mateix, s'ha estudiat l'influència del pendent i de l'acceleració en el consum i les emissions. L'estudi s'ha fet suposant que tots els vehicles són Dièsel i s'han comparat els resultats amb els que s'obtenen si els vehicles fossin Híbrids.

En la fase d'experimentació es mostra com s'han obtingut els perfils de velocitat reals a partir de la captació de dades, mitjançant una aplicació informàtica, circulant en un vehicle per les vies d'estudi. També es presenta una manera alternativa de conèixer les intensitats de vehicles en determinats carrers i la comparativa amb els valors oficials.

És amb aquestes dades que, introduint-les a un simulador de vehicles, l'Advisor, s'han fet les diferents estimacions de consum i emissions i s'han pogut dimensionar els volums de NOx i PM que s'emeten en determinades vies i en unes franges horàries concretes.

S'han obtingut resultats consistents a partir de la metodologia empleada i s'ha observat la incidència de les diferents simplificacions que sovint s'utilitzen en el càlcul del consum i consegüentment de les emissions.

El present treball deixa obertes diferents vies d'investigació i introdueix una metodologia que permetria elaborar un mapa detallat d'emissions en una ciutat com la de Barcelona.



# Sumari

|  |           |
|--|-----------|
| <b>RESUM</b>   | <b>1</b>  |
| <b>SUMARI</b>  | <b>3</b>  |
| <b>1. GLOSSARI</b>                                     | <b>5</b>  |
| <b>2. INTRODUCCIÓ</b>                                  | <b>6</b>  |
| 2.1. Objectius del projecte                            | 6         |
| 2.2. Abast del projecte                                | 7         |
| <b>3. METODOLOGIA</b>                                  | <b>8</b>  |
| 3.1. Eines informàtiques emprades                      | 8         |
| 3.1.1. Aplicació mòbil                                 | 8         |
| 3.1.2. QGIS  | 9         |
| 3.1.3. Python  | 9         |
| 3.1.4. Advisor   | 9         |
| <b>4. PROCÉS D'EXPERIMENTACIÓ</b>                      | <b>10</b> |
| 4.1. Definició dels recorreguts i les franges horàries | 10        |
| 4.2. Comptatge de Vehicles                             | 13        |
| 4.2.1. Les espires magnètiques                         | 14        |
| 4.2.2. Comptatge manual de vehicles                    | 14        |
| 4.3. Obtenció de les dades amb l'aplicació mòbil       | 15        |
| <b>5. RESULTATS DE L'EXPERIMENTACIÓ</b>                | <b>17</b> |
| 5.1. Comptatge de vehicles                             | 17        |
| 5.1.1. Resultats del comptatge de vehicles             | 17        |
| 5.1.2. Verificació de les dades obtingudes             | 18        |
| 5.2. Cicles de conducció                               | 19        |
| 5.2.1. Resultats                                       | 19        |
| 5.2.2. Verificació i tractament de les dades           | 20        |
| 5.2.3. Cicles obtinguts                                | 26        |
| <b>6. RESULTATS</b>                                    | <b>31</b> |
| 6.1. Estimació i anàlisi del consum i les emissions    | 31        |
| 6.1.1. Carrer Numància                                 | 32        |
| 6.1.2. Carrer del Compte d'Urgell                      | 35        |
| 6.1.3. Carrer Aragó                                    | 39        |
| 6.1.4. Gran Via  | 43        |
| 6.2. Anàlisi dels Resultats                            | 46        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CONCLUSIONS</b>                                | <b>56</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b>                               | <b>58</b> |
| Referències bibliogràfiques .....                 | 58        |
| <b>ANNEXOS</b>                                    | <b>59</b> |
| I) Imatges, figures i taules complementàries..... | 59        |
| II) Codi utilitzat en el treball .....            | 70        |

## 1. Glossari

Advisor: Advanced Vehicle Simulator.

IMD: Intensitat Mitjana diària de vehicles

IMH: Intensitat Mitjana Horària de vehicles

NOx: Òxids de Nitrogen

PM: Partícules en suspensió, s'usa indistintament de si són de diàmetre 10 o 2,5  $\mu\text{m}$ .

rpm: Revolucions per minut

## 2. Introducció

D'acord amb l'Organització Mundial de la Salut (OMS), més del 80 % de la població resident en zones urbanes està exposada a nivells de contaminació que sobrepassen els límits recomanats [1]. Malgrat que aquest alts nivells de contaminació tenen diversos causants, el trànsit de vehicles n'és un dels principals. Alguns estudis, per exemple, relacionen les emissions causades pel trànsit de vehicles amb un desenvolupament cognitiu més baix en els infants més exposats [2], mentre que d'altres, assenyalen que de complint-se els estàndards recomanats per l'OMS, s'evitarien fins a 3500 morts prematures a l'Àrea metropolitana de Barcelona [3].

En els últims anys, la comissió Europea ha anat endurint les normatives, introduint noves regulacions com la Euro 5 i Euro 6 per tal de limitar progressivament les emissions permeses i establir mecanismes de control cada cop més exigents [4]. Governos estatals i Ajuntaments de les ciutats més afectades també fa anys que prenen mesures al respecte, com la prohibició de circular pel centre de Londres o els peatges per entrar als centres de ciutats com Estocolm i Göteborg. En el cas de Barcelona, s'ha designat una zona lliure de contaminació (Rondes i tota l'àrea que es troba en el seu interior) de tal manera que en dies d'alta contaminació només es permetrà circular a vehicles que disposin d'etiqueta mediambiental.

La principal variable que afecta la contaminació és la congestió del trànsit. Les emissions de contaminants dels vehicles depenen del consum de combustible. Aquest consum és funció de la velocitat i acceleració del vehicle així com del pendent de la via.

Per tal d'avaluar el consum i les emissions de contaminants en una via caldrà caracteritzar-la des del punt de vista de velocitat i acceleració per diferents franges horàries i a partir d'aquesta caracterització aplicar els models de consum i contaminació.

### 2.1. Objectius del projecte

L'objectiu del treball és caracteritzar experimentalment els cicles de conducció de diverses vies de la ciutat de Barcelona i obtenir, mitjançant simulació, el consum de combustible i la consegüent emissió de contaminants que generen un determinat tipus de vehicle que circuli per les vies caracteritzades utilitzant el patró de conducció obtingut. Així mateix es vol estudiar l'influència del pendent i de l'acceleració en el consum i les emissions. Finalment es pretén analitzar la millora que pot suposar, en quan a reducció de consums i emissions, la introducció dels vehicles Híbrids.



## 2.2. Abast del projecte

Aquest projecte constarà d'un treball de camp limitat a un nombre concret de carrers, en els que s'efectuarà la presa de dades seguint una metodologia concreta. A continuació, es procedirà al tractament i la validació de les dades obtingudes, descartant aquelles que siguin poc fiables o no siguin d'interès. Finalment, s'efectuaran simulacions amb un programa informàtic especialitzat i amb les dades validades, per tal d'obtenir uns resultats que puguin satisfer els objectius i dur a conclusions.

### 3. Metodologia

En aquest capítol es presenta la metodologia emprada en el transcurs del projecte, fent especial èmfasi a les eines utilitzades en les diferents fases.

La primera fase del treball correspon a l'experimentació. Inclou des de la identificació de les vies i la definició de les franges horàries a estudiar fins a l'adquisició de les dades desitjades a partir del treball de camp. Les dades a obtenir són les del perfil de velocitats i acceleracions de cada via a estudiar i es capturen utilitzant una aplicació per a mòbils capaç d'enregistrar diferents variables que es generen en la conducció. L'aplicació utilitza el GPS del dispositiu per a geolocalitzar cada punt que s'enregistra. Per altra banda, en la fase d'experimentació també s'han realitzat comptatges de vehicles per tal de dimensionar les intensitats de vehicles que circulen per les vies estudiades.

A continuació, les dades obtingudes amb l'aplicació es sotmeten a un procés de verificació i tractament que ha de permetre d'obtenir la caracterització dels cicles de conducció. A més s'utilitza un Programa d'Informació Geogràfica i les dades del GPS enregistrades per l'aplicació per a calcular el pendent de cada punt. També es validen els resultats obtinguts en el comptatge de vehicles.

Finalment, s'introdueixen els cicles caracteritzats en el programa Advisor, un simulador de vehicles, per tal d'estimar els consums i les emissions generades en els cicles. S'efectuen diferents simulacions per a un mateix cicle per tal de determinar la incidència de diferents variables en els resultats de consum i emissions. En aquest punt, s'utilitzen les dades del comptatge de vehicles per a dimensionar les emissions i el consum que es produeix en un carrer determinat i una hora concreta segons els resultats de les simulacions efectuades.

#### 3.1. Eines informàtiques emprades

##### 3.1.1. Aplicació mòbil

Per tal d'obtenir el perfil de velocitats de cicles reals, s'utilitza una aplicació mòbil que enregistra diferents dades relatives al cicle de conducció. Aquestes dades són les acceleracions en els tres eixos<sup>1</sup>, la latitud i longitud, les velocitats, la distància recorreguda i el temps. L'aplicació capta aproximadament 10 registres d'acceleració per cada registre de localització, velocitat i distància (que s'obtenen a partir del GPS) i determina el rellotge (temps)

---

<sup>1</sup> En el moment d'instal·lar el dispositiu mòbil en el vehicle, es té especial cura de mantenir l'eix Y perpendicular al pla del vehicle.

en que es produeix cada enregistrament. Aquestes dades, doncs, són suficients per a establir el perfil de velocitats.

### **3.1.2. QGIS**

Al treballar amb dades georeferenciades, al llarg del projecte serà necessari l'ús d'eines que permetin visualitzar aquestes dades en un mapa, ja sigui per verificar-ne la seva veracitat i descartar-ne les errònies, o per extreure informació que d'altre manera romandria oculta. És per això que es decideix utilitzar el programa QGIS, un Software d'Informació Geogràfica (SIG) basat en codi obert i àmpliament utilitzat. És amb aquesta eina que s'afegeix l'alçada sobre el nivell del mar en que es troba cada un dels punts dels cicles enregistrats, per obtenir-ne el pendent. Aquest programari, a més, permetrà la creació de visualitzacions de dades i la creació de mapes personalitzats.

### **3.1.3. Python**

De cara a gestionar i tractar els grans volums de dades generats de forma eficient i segura (és a dir, assegurant de no perdre dades pel camí), s'ha utilitzat scripts i funcions en llenguatge de programació Python i creades ad hoc segons les necessitats del treball. La interfície de treball és la llibreta Jupyter Notebook, inclosa dins la distribució Anacondas que permet executar les comandes i visualitzar-ne els resultats just a continuació de les respectives crides i funcions. El tractament de les dades inclourà un ús intensiu del mòdul Pandas, una llibreria de codi obert especialitzada en la gestió de dades.

### **3.1.4. Advisor**

Per tal d'avaluar el comportament dels vehicles a partir dels cicles de conducció obtinguts, s'utilitza un software de simulació conegut com ADVISOR (Advanced Vehicle Simulator), desenvolupat pel U.S Department of Energy (DOE) i el National Renewable Energy Laboratory (NREL) conjuntament amb diferents indústries del sector automobilístic. Aquest simulador, creat sobre MATLAB/Simulink, permet calcular el parell, la potència, les emissions, i el consum, entre altres magnituds característiques, d'un vehicle al llarg del temps, especificant la configuració del automòbil en qüestió i definint el cicle a efectuar [5]. El cicle de conducció queda definit indicant les velocitats a cada instant de temps i el pendent de la carretera a cada tram. Pel que fa al vehicle, el programa té en compte un gran nombre de magnituds físiques, totes elles editables, a més de múltiples components i configuracions que permeten definir un vehicle amb gran exactitud. En el present treball, doncs, s'utilitzarà la possibilitat que ofereix el programa de personalitzar els cicles de conducció per tal d'introduir-hi els cicles obtinguts i extreure una simulació del rendiment d'un vehicle tipus que servirà per a dimensionar variables tals com emissions, consum de combustible i velocitat mitja en una franja horària determinada.

## 4. Procés d'experimentació

En aquest capítol s'exposa la planificació i el treball de camp efectuat a fi d'obtenir les dades de flux de vehicles i de velocitats dels trams de carrers que s'han escollit per a l'estudi.

### 4.1. Definició dels recorreguts i les franges horàries

Per tal d'escollir de manera objectiva els carrers i vies més importants de la ciutat de Barcelona en termes de volum de trànsit, s'han consultat les dades que publica l'Ajuntament de Barcelona [6] sobre la Intensitat Mitjana Diària (IMD) de vehicles a les vies principals de la ciutat. La Taula 4-1 mostra aquestes dades que es presenten anualment<sup>2</sup> i separen les vies segons les que tenen direccions que van de Mar a Muntanya i les que ho fan en direcció Besós - Llobregat. En primer lloc, es decideix descartar de l'estudi l'Avinguda Meridiana ja que, per una banda es considera que correspon a una via d'entrada/sortida de la ciutat, a diferència de la resta, i per l'altra, es troba geogràficament allunyada de la resta de vies, cosa que dificultaria la definició d'itineraris per a la presa de dades, com s'explicarà més endavant.

| DADES VARIABLES DE TRÀNSIT (2015)         |        |        |        |        |        |         |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| I.M.D. A LES VIES PRINCIPALS              |        |        |        |        |        |         |
| LLOC DE CONTROL                           | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | % 15/14 |
| <b>VIES EN DIRECCIÓ MAR-MUNTANYA</b>      |        |        |        |        |        |         |
| Comte d'Urgell (París - Còrsega)          | 43.245 | 42.021 | 41.798 | 41.948 | 42.015 | 0,2%    |
| Aribau (Diputació - Consell de Cent)      | 19.298 | 19.722 | 19.091 | 19.326 | 19.797 | 2,4%    |
| Av. Sarrià (J. Tarradellas - Trav. Corts) | 54.002 | 52.937 | 51.313 | 50.974 | 51.055 | 0,2%    |
| Balme (Diputació - Gran Via)              | 35.230 | 36.154 | 36.025 | 34.721 | 35.473 | 2,2%    |
| Tarragona (Aragó - Consell de Cent)       | 48.764 | 46.265 | 45.978 | 46.819 | 46.513 | -0,7%   |
| Via Laietana (Pl. Antoni Maura)           | 44.933 | 44.408 | 44.431 | 43.889 | 43.732 | -0,4%   |
| Av. Meridiana (Mallorca - València)       | 86.254 | 85.130 | 83.216 | 83.491 | 84.639 | 1,4%    |
| Marina (Almogàvers - All-Beí)             | 26.315 | 25.877 | 23.210 | 23.263 | 23.524 | 1,1%    |
| Ronda del Mig (Trav. Corts - Av. Madrid)  | 76.907 | 77.342 | 75.584 | 76.748 | 77.696 | 1,2%    |
| Numància (Marquès de Sentmenat)           | 32.099 | 32.616 | 32.073 | 31.457 | 31.832 | 1,2%    |
| Entença (Deu i Mata)                      | 27.438 | 28.395 | 26.298 | 26.040 | 27.420 | 5,3%    |
| <b>VIES EN DIRECCIÓ BESÓS-LLOBREGAT</b>   |        |        |        |        |        |         |
| Aragó (Pau Claris - Pg. Gràcia)           | 78.415 | 78.615 | 75.340 | 76.591 | 78.597 | 2,6%    |
| Mallorca (Bruc - Roger Llúria)            | 22.759 | 22.037 | 23.112 | 22.615 | 22.529 | -0,4%   |
| València (Rbla. Catalunya - Pg. Gràcia)   | 27.179 | 28.394 | 28.326 | 28.065 | 28.416 | 1,2%    |
| Gran Via (Villarroel - Casanova)          | 56.992 | 56.716 | 53.057 | 51.115 | 52.653 | 3,0%    |
| Diagonal (Rbla. Catalunya - Via Augusta)* | 94.616 | 93.258 | 92.864 | 90.069 | 84.816 | -5,8%   |
| Pg. Colom                                 | 53.372 | 54.902 | 55.507 | 56.800 | 56.678 | -0,2%   |

Taula 4-1 IMD en les principals vies de la ciutat. Font: Ajuntament de Barcelona.

Així doncs, i d'acord amb el criteri de màxima IMD, s'escullen les vies recollides a la Taula 4-2, separades segons les Direccions Mar – Muntanya (Verticals) i Besós - Llobregat

<sup>2</sup> Les dades corresponents a 2015 són les darreres publicades en el moment d'elaborar aquest document.

(horitzontals). Donat el major nombre de vies verticals entre les més transitades en front de les horitzontals, s'escullen un més vies verticals que horitzontals. S'aplica el criteri de distribuir els sentits, és a dir, que entres les vies escollides, hi hagi tantes en sentit Mar com en sentit Muntanya i tantes en sentit Besós com en sentit Llobregat. S'aprofita l'existència d'algunes vies bidireccionals, com ara l'Avinguda Diagonal o la Via Laietana, per a complir aquest criteri.

Per motius pràctics, es substitueix el carrer Aribau, que queda geogràficament aïllat de les altres vies escollides, per el carrer Numància, ja que ambdós tenen una IMD similar.

| Vies en direcció Mar - Muntanya |       |          | Vies en direcció Besós – Llobregat |       |           |
|---------------------------------|-------|----------|------------------------------------|-------|-----------|
| Carrer                          | IMD   | Sentit   | Carrer                             | IMD   | Sentit    |
| Ronda del Mig                   | 77696 | Mar      | Diagonal                           | 84816 | Besós     |
| Av. Sarrià                      | 51055 | Muntanya | Aragó                              | 78597 | Llobregat |
| Tarragona                       | 46513 | Mar      | Pg. Colom                          | 56678 | Llobregat |
| Via Laietana                    | 43732 | Muntanya | Gran Via                           | 52653 | Besós     |
| Compte d'Urgell                 | 42015 | Muntanya |                                    |       |           |
| Numancia                        | 31832 | Mar      |                                    |       |           |

Taula 4-2 Carrers escollits per a l'experimentació. Font: Aj. Barcelona, elaboració pròpia.

Arribats a aquest punt, cal esmentar que la mostra final s'acaba reduint a 8 carrers un cop es posa en marxa l'experimentació. En primer lloc, es comprova que al tram de la Ronda del Mig on es pretenia fer l'experimentació, al estar soterrat, presenta molt mala cobertura GPS i per tant es decideix descartar. Per altra banda, s'observa que pel Passeig de Colom i en el sentit especificat hi ha un trànsit molt més reduït del que era d'esperar en bona part del recorregut. Això, sumat a les particularitats del carrer, que acumula la major part de retencions degut a les entrades i sortides de la Ronda Litoral fent més complicat el comptatge, fa que finalment s'opti per descartar-lo de l'estudi.

Un cop s'han decidit els carrers a estudiar, cal establir un protocol per a realitzar el treball de camp. En primer lloc, s'estableix el nombre d'assajos a realitzar per cada via. Per fer-ho s'utilitzen novament les dades que facilita l'ajuntament [6], en aquest cas d'un estudi de 2012<sup>3</sup>, on s'expressa gràficament el tant per cent de la intensitat mitjana diària al llarg del dia, de manera que permet identificar-ne les hores vall i les hores punta. Aquestes dades es presenten a la Fig. 4.3.

Aquest tipus de gràfic s'obté combinant les Intensitats Mitjanes Horàries (IMH) per a cada hora del dia amb la IMD. Com es pot comprovar en la Taula 4-1, les IMD no han variat substancialment en el període 2012-2015 i es pot suposar que entre 2015 i l'actualitat tampoc

<sup>3</sup> Aquest estudi forma part del document 'Dades bàsiques de Mobilitat 2015' mencionat anteriorment, però s'incideix en la data de creació ja que es tracta de l'única font utilitzada d'aquest document que no data de 2015.

ho hauran fet. Per tant, si es parteix de la base que tampoc no hi ha hagut cap canvi substancial en els hàbits dels conductors en el període esmentat, es pot concloure que els resultats de l'estudi de 2012, a afectes d'aquest treball, continuen vigent avui dia.

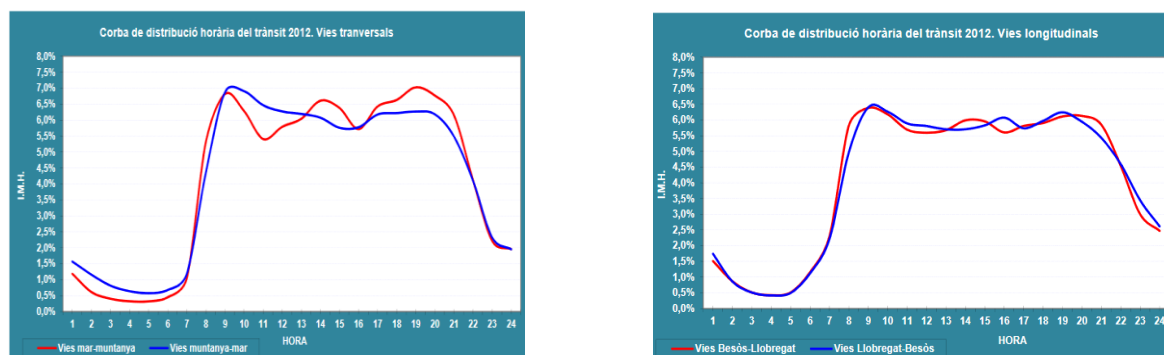


Fig. 4.1 Corbes de distribució horària del trànsit. Font: Aj. Barcelona

En vista de les dades, es decideix establir tres franges horàries d'estudi, que es corresponen de forma aproximada amb les hores punta identificades en els gràfics:

| Franja horària  | Nom    |
|-----------------|--------|
| 8:00h – 9:30h   | Matí   |
| 12:00h – 13:30h | Migdia |
| 17:30h – 19:00h | Tarda  |

Taula 4-3 Franges horàries a estudiar.

Per a cada carrer, s'enregistraran un mínim de 3 cicles de conducció per al seu posterior anàlisi. Es decideix també que les adquisicions de dades es facin únicament en dia laborable. Per tal d'assegurar que en el moment de fer el tractament de dades no s'haurà de repetir cap cicle, es fan dues experimentacions per a cada via i franja horària. D'aquesta manera, s'enregistren un total de 48 cicles de conducció.

Els itineraris establerts per a la presa de dades són els següents:

Itinerari I:

Carrer Numancia – Carrer Tarragona- Carrer del Compte d'Urgell - Avinguda Sarrià



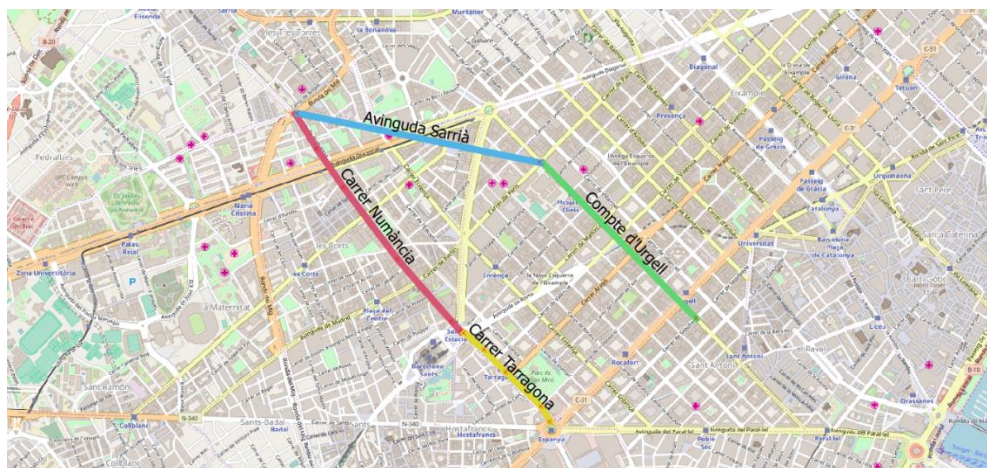


Fig. 4.2 Mapa de l'itinerari I. Font: Open Street Maps, elaboració pròpia.

Itinerari II:

Avinguda Diagonal – Carrer Aragó - Gran Via - Via Laietana

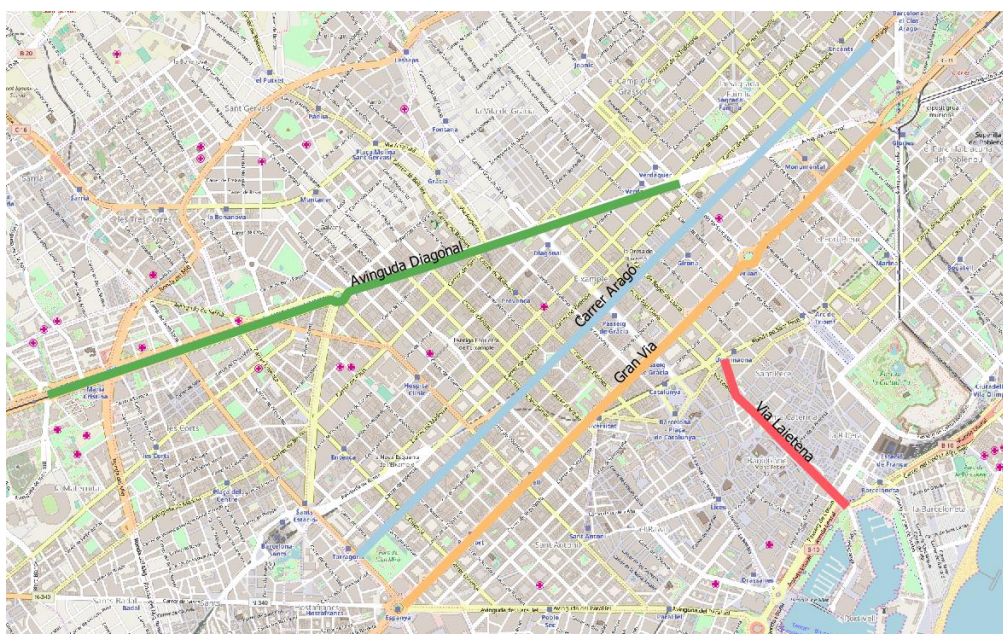


Fig. 4.3. Mapa amb l'itinerari II. Font: Open Street Maps, elaboració pròpia.

## 4.2. Comptatge de Vehicles

D'acord amb els objectius, el treball conté un apartat de quantificació dels contaminants emesos en les zones d'estudi i per fer-ho, més enllà de l'estudi dels cicles de conducció, és necessari conèixer la quantitat de vehicles que passen per a cada una de les vies estudiades. En aquest apartat, es discuteixen les dos principals alternatives per a conèixer el flux de vehicles als carrers estudiats.

#### 4.2.1. Les espires magnètiques

Un dels sistemes més estesos per a la detecció de vehicles són les espires magnètiques o detectors de llaç inductiu, que permeten conèixer el flux de vehicles i fins i tot la velocitat d'aquests (depenen de la seva configuració) a on cost relativament baix. En el cas de Barcelona, aquestes són presents en la majoria de vies de la xarxa bàsica de la ciutat i suposa la principal font d'informació de que disposen els organismes de gestió del trànsit per a monitoritzar les intensitats de vehicles a la ciutat.

El principal inconvenient d'aquest sistema és la dificultat d'accedir a les dades. En concret l'única font de dades trobada és l'estudi prèviament mencionat que publica anualment el departament de mobilitat 'Dades bàsiques de Mobilitat', la versió més actualitzada del qual, en el moment d'efectuar el treball, data de 2015 i s'ha utilitzat en l'elecció dels carrers i franges horàries a estudiar. La Taula 4-1 i la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, presentades anteriorment, faciliten les IMD i IMH de les principals vies, però ho fan de forma agregada i per tant no es pot distingir segons sentits en vies com l'Avinguda Diagonal. Tampoc separa els turismes de les motocicletes i els autobusos. Així doncs, en aquest treball es presenta una alternativa per a quantificar els fluxos de vehicles i s'utilitzen les dades bàsiques de mobilitat que es disposen per a validar-les.

#### 4.2.2. Comptatge manual de vehicles

L'alternativa escollida per avaluar el flux de vehicles consisteix en fer el comptatge de forma manual. Malgrat que amb aquest sistema caldria un elevat nombre de mostres per obtenir resultats estadísticament significatius, es considera que per a obtenir un dimensionament dels fenòmens a estudiar és suficient amb un nombre més reduït.

L'experimentació es conduirà per a cada via en una cruïlla de carrers propera a un sistema de detecció d'espises i consistirà en comptar els turismes que hi passen en 5 minuts. Queden exclosos del comptatge els autobusos, camions i motocicletes. Per a cada carrer i franja horària, s'efectuaran 2 mesures. En la Fig. 4.4 es mostra un mapa que situa els 8 punts de comptatge escollits.

Ateses les limitacions d'aquest mètode, un cop fet el treball de camp es creuaran els resultats amb les dades de l'Ajuntament de Barcelona per tal de validar la veracitat dels comptatges.



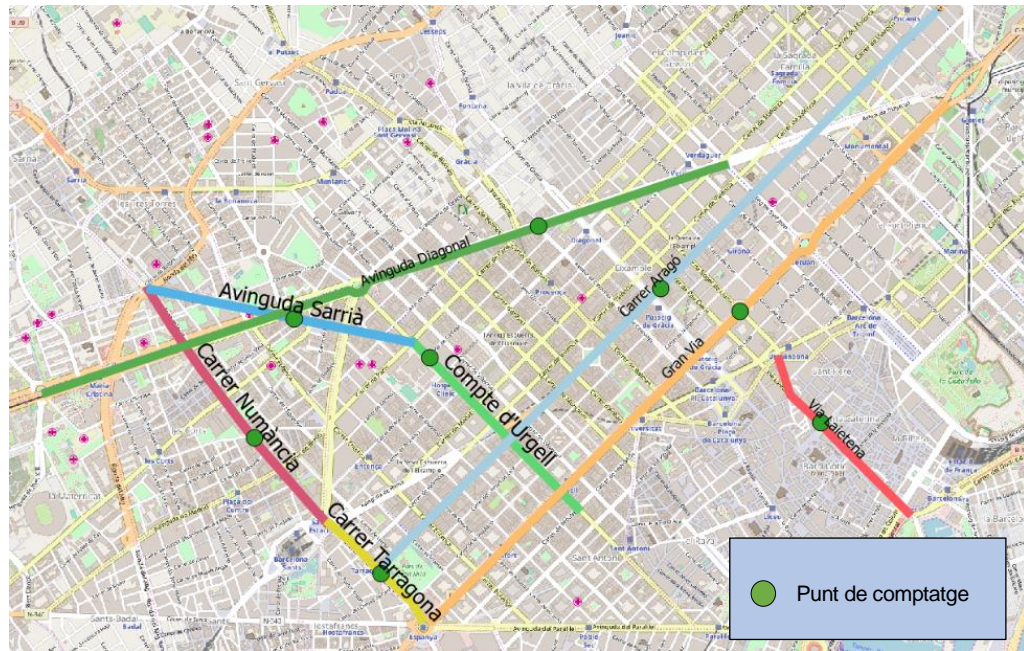


Fig. 4.4 Punts de comptatge de vehicles. Font: Open Street Maps, elaboració pròpia.

### 4.3. Obtenció de les dades amb l'aplicació mòbil

La caracterització dels cicles, tal com s'havia avançat, es farà utilitzant dades experimentals obtingudes amb una aplicació mòbil. Aquesta aplicació permet recollir les acceleracions, les coordenades geogràfiques, la velocitat instantània i la distància recorreguda, totes elles juntament amb un rellotge amb precisió de ms. L'aplicació capta unes 10 mostres d'acceleració per cada registre de localització i velocitat, que es produeix aproximadament cada segon i mig. Aquesta variabilitat en l'obtenció de mostres obligarà a un posterior tractament de les dades obtingudes, però es considera acceptable d'acord amb les característiques de l'Advisor. A més, al escollir aquest software de simulació d'entre les diferents alternatives, les acceleracions instantànies que s'obtinguin experimentalment no s'utilitzaran de forma directe ja que el simulador només necessita de velocitats instantànies i pendent a cada punt del recorregut. S'aprofitarà, això si, per efectuar verificacions a posteriori.

Pel que fa el pendent, es calcularà a posteriori per a cada diferencial de temps a partir de les dades d'alçada i de distància recorreguda, utilitzant el QGIS. Malgrat que existeix una versió de l'aplicació que permet el registre de l'alçada a cada punt a partir del mateix GPS que genera la localització, es desestima aquesta opció donada la baixa precisió que dona. L'alternativa passa per utilitzar dades altimètriques oficials, de manera que a partir de les coordenades es podrà tenir l'alçada de cada punt. Novament, això implica la necessitat d'un post tractament.

El treball de camp es realitza amb un monovolum Volkswagen Turan, de motor Dièsel, en dies laborables i lectius del mes de Novembre i es procurarà seguir un estil de conducció neutre, sense acceleracions ni frenades agressives.

## 5. Resultats de l'experimentació

En aquest capítol es presenta la anàlisi i verificació de les dades realitzada, explicant pas per pas, des del punt de partida fins a l'exposició dels resultats, totes les accions dutes a terme i justificant les decisions preses.

### 5.1. Comptatge de vehicles

#### 5.1.1. Resultats del comptatge de vehicles

Els resultats del comptatge de vehicles es presenten a la Taula 5-1, convertits a vehicles per hora utilitzant la fórmula<sup>4</sup> següent:

$$IMH = \bar{S} \frac{60}{5}$$

Equació 5.1

On  $\bar{S}$  és la mitjana aritmètica de les mostres obtingudes en la via durant la mateixa franja horària.

Cal recordar que aquest resultats només contenen turismes, tan les motos, com els autobusos, autocars, furgonetes i camions n'han quedat exclosos. A més, en el cas de les vies bidireccionals, és a dir, l'Avinguda Diagonal i la Via Laietana, només s'han comptat els turismes que circulaven en el sentit escollit en la planificació de l'experimentació.

|                                | <i>Mati</i> | <i>Migdia</i> | <i>Tarda</i> |
|--------------------------------|-------------|---------------|--------------|
| <i>Numancia</i>                | 1410        | 1206          | 1362         |
| <i>Tarragona</i>               | 1446        | 1332          | 1518         |
| <i>Compte d'Urgell</i>         | 1896        | 1800          | 1974         |
| <i>Avinguda Sarrià</i>         | 1326        | 2106          | 1980         |
| <i>Diagonal (Besós)</i>        | 1182        | 1440          | 1524         |
| <i>Aragó</i>                   | 3270        | 3120          | 3036         |
| <i>Gran Via</i>                | 1950        | 2010          | 2010         |
| <i>Via Laietana (Muntanya)</i> | 630         | 642           | 588          |

Taula 5-1 Resultats del comptatge de vehicles, expressats en vehicles/hora.

<sup>4</sup> El comptatge s'ha efectuat en períodes de 5 minuts. D'aquí surt el factor de conversió.

### 5.1.2. Verificació de les dades obtingudes

Per tal de verificar les dades obtingudes en el comptatge manual, es farà una comparació de les dades experimentals amb les que ofereix l'Ajuntament. Per poder-ho fer, però, s'hauran de tractar les dades i aplicar algunes correccions per a que siguin equiparables.

En primer lloc, cal afegir un factor corrector a les dades obtingudes en el comptatge de vehicles per tal d'incloure les motocicles i altres vehicles que s'han obviat en la fase d'experimentació, però que si que es comptabilitzen en les dades oficials. A partir de les dades del cens de vehicles a la ciutat de Barcelona [7] s'ha considerat que de tots els vehicles que circulen per la ciutat, un 65% són turismes<sup>5</sup>. El factor corrector a aplicar, doncs, és:

$$factor\ corrector = \frac{1}{0,65} = 1,54$$

*Equació 5.1*

A més, en les vies bidireccionals s'ha considerat que el flux de vehicles és similar en els dos sentits, de manera que n'hi ha prou en multiplicar per dos els valors obtinguts en el comptatge per a dimensionar el total de la via. Això succeirà a l'Avinguda Diagonal i a la Via Laietana.

Amb aquestes dues modificacions, s'obté el valor corregit de les IMH experimentals que es compararà amb les IMH de l'Ajuntament. Els valors de IMH de l'ajuntament s'han obtingut multiplicant els valors IMD de la Taula 4-1 pel corresponent coeficient de ponderació, representats en les IMH de la Fig. 4.1.

A cada franja horària es calcula la diferència, en tant per cent, del valor experimental respecte el valor publicat per l'Ajuntament. S'han considerat com a bons els resultats amb diferències inferiors al 7%, acceptables els estan entre el 7 % i el 12 % i nuls la resta. Aquestes diferències, contenen l'error experimental i l'error en els factors de conversió, a més de la variabilitat introduïda al disposar de poques mostres i les variacions naturals al comparar dades del 2015 amb dades obtingudes el 2017.

La Taula 6-21 mostra el resum dels resultats obtinguts, mentre que la taula completa es pot consultar a l'annex I (Taula 0-2).

---

<sup>5</sup> En el comptatge de vehicles, no es diferenciava entre cotxes i furgonetes. El factor corrector inclou aquest fet.

|                                | <i>Matí</i> | <i>Migdia</i> | <i>Tarda</i> | <i>Global</i> |
|--------------------------------|-------------|---------------|--------------|---------------|
| <i>Numancia</i>                | <b>2%</b>   | <b>-3%</b>    | <b>3%</b>    | <b>2%</b>     |
| <i>Tarragona</i>               | -40%        | -36%          | -27%         | 35%           |
| <i>Compte d'Urgell</i>         | <b>2%</b>   | <b>9%</b>     | <b>7%</b>    | <b>6%</b>     |
| <i>Avinguda Sarrià</i>         | -70%        | 5%            | -12%         | 29%           |
| <i>Diagonal (Besós)</i>        | -50%        | -11%          | -5%          | 22%           |
| <i>Aragó</i>                   | <b>0%</b>   | <b>5%</b>     | <b>2%</b>    | <b>2%</b>     |
| <i>Gran Via</i>                | -14%        | <b>1%</b>     | <b>1%</b>    | <b>6%</b>     |
| <i>Via Laietana (Muntanya)</i> | -47%        | -44%          | -57%         | 49%           |

*Taula 5-2 Diferències amb els valors experimentals respecte els publicats per l'Ajuntament de Barcelona.*

Els resultats destacats en negreta s'han considerat com a validats i per tant serviran per a dimensionar el volum de vehicles que circulen per la via i realitzar l'estudi corresponent. La resta de cicles, doncs, no seran estudiats.

## 5.2. Cicles de conducció

### 5.2.1. Resultats

A partir del treball de camp, s'han obtingut les dades d'un total de 37<sup>6</sup> cicles de conducció, que han estat preses en els 8 trams a estudiar i durant les tres franges horàries establertes.

Les dades experimentals, però, presenten una sèrie d'errors i imprecisions que dificulten i alenteixen notablement el seu tractament, de manera que es decideix reduir els trams a estudiar a únicament aquells que disposen d'unes dades d'IMH fiables, segons les consideracions presentades a l'apartat anterior. Aquests trams són el Carrer Numància, el Carrer Compte d'Urgell, el Carrer Aragó i la Gran Via. Noteu que això implica un tram en cada sentit possible, de manera que permet analitzar les diferents casuístiques definides en els objectius i fer una caracterització prou completa del sistema viari de la ciutat. D'aquesta manera, finalment es caracteritzaran 12 cicles de conducció diferents i es farà el dimensionament corresponent en 11<sup>7</sup>.

Els principals problemes en les mostres són la variabilitat en la freqüència de recollida de mostres i l'existència de valors anòmals o no desitjats. La variabilitat en la freqüència de

<sup>6</sup> Malgrat que la previsió inicial era de fer-ne 48, en algunes vies no s'ha repetit l'experimentació un cop han quedat descartades.

<sup>7</sup> El cicle de matí de Gran Via es caracteritza, però al tenir una IMH considerada anòmala, no es dimensiona.

recollida de mostres implica que el període de temps que transcorre entre captura i captura del GPS és variable i se situa entre 1 i 2 segons. Això vol dir que entremig, hi haurà també una xifra variable de mostres d'acceleració. Per altra banda, en diferents camps i per múltiples motius es produeixen valors anòmals, però destaquen els punts deslocalitzats, és a dir, amb coordenades fora de lloc, que s'originen en els primers instants d'activar l'aplicació quan al GPS encara esta situant-se i donen lloc a coordenades, velocitats i valors de distància recorreguda absurds. També hi ha valors no desitjats que s'enregistren en començar o acabar el cicle fora del lloc previst.

Els camps que s'han obtingut a través de l'aplicació són els següents:

| Nom del camp           | Descripció                           | Ús   |
|------------------------|--------------------------------------|--|
| <b>AccX[m/s2]</b>      | Acceleració lateral del vehicle      | No s'utilitza  |
| <b>AccY[m/s2]</b>      | Acceleració longitudinal del vehicle | Verificació de les acceleracions obtingudes amb Advisor. |
| <b>AccZ[m/s2]</b>      | Acceleració vertical del vehicle     | No s'utilitza  |
| <b>Latitud</b>         | Latitud del punt                     | Localització del punt en el mapa                         |
| <b>Longitud</b>        | Longitud del punt                    | Localització del punt en el mapa                         |
| <b>Velocidad[m/s]</b>  | Velocitat del vehicle                | Velocitat instantània en el punt                         |
| <b>Recorrido[m]</b>    | Distància recorreguda                | Distancia recorreguda i càlcul del pendent               |
| <b>Crono[ms]</b>       | Rellotge                             | Temps transcorregut                                      |
| <b>PrecisionGPS[m]</b> | Precisió del GPS                     | Verificació del GPS                                      |
| <b>TiempoGPS[ms]</b>   | Rellotge del GPS                     | No s'utilitza  |

*Taula 5-3 Camps obtinguts amb l'aplicació mòbil.*

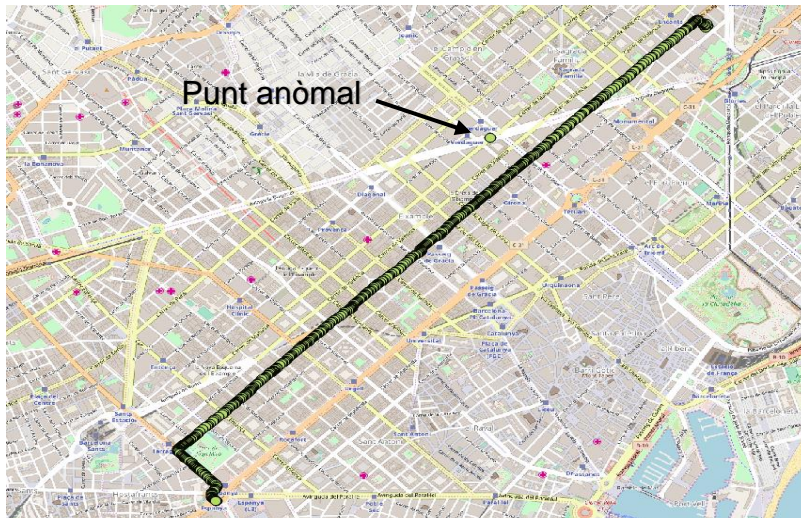
### 5.2.2. Verificació i tractament de les dades

Com s'ha explicat en el punt anterior, s'ha de fer un tractament específic de les dades. L'estratègia seguida ha estat de, a cada problema, aplicar-li la corresponent solució i, posteriorment, fer-hi la verificació pertinent. A continuació es detallen els diferents passos en que ha consistit el tractament de dades, juntament amb els punts de verificació que s'han establert. Algunes de les rectificacions no han estat necessàries per tots el cicles i en alguns casos, ha estat necessari dissenyar un tractament personalitzat.



### Selecció del traçat

Donat que s'està al carrer, no es pot aturar sempre el vehicle quan es desitja, especialment en hores punta, cada cicle té uns punts d'inici i final diferents. En molts casos s'ha optat per començar el cicle una mica abans d'arribar a l'inici del tram, o acabar-lo una mica més tard del punt final que s'havia establert. Això fa que s'hagin obtingut dades que no formen part estrictament del cicle. Per altra banda i com s'ha comentat en el punt anterior, les primeres dades que dona el GPS en entrar en funcionament són sempre errònies, així que tant en un



*Fig. 5.1 Selecció del traçat utilitzant QGIS.*

cas com en l'altre, cal detectar els casos i descartar els punts no desitjats. Aquesta fase es fa utilitzant el programa QGIS, que permet dibuixar les dades obtingudes sobre un mapa de Carrers de Barcelona. D'aquesta manera es fa una primera verificació dels resultats, en aquest cas, de que els punts obtinguts estant correctament GEO

referenciats i que el traçat que conformen es correspon amb el tram volgut. La Fig. 5.1 mostra un cas corresponent al Carrer Aragó en el que s'ha detectat un punt anòmal i en que també s'han hagut d'eliminar dades del principi i del final de cicle per no correspondre amb el tram establert. Cal fer menció al fet que, per no desnaturalitzar el cicle, en la mesura del possible s'intenta fer-lo començar i finalitzar en parat. Això farà que diferents cicles corresponents al mateix tram presentin distàncies recorregudes i fins i tot pendents lleugerament diferents.

### Discretització

Com s'ha comentat anteriorment, l'aplicació recull moltes més mostres per instant de temps de l'acceleròmetre que no pas del GPS, en una proporció variable que se situa entorn del 10 a 1. Això fa que les dades del GPS quedin repetides i que, si, dins del QGIS, es clica en un dels punts que apareixen a la figura anterior, el programa seleccioni múltiples mostres en la mateixa localització, en que només varien les acceleracions i el cronòmetre. Això alenteix la seva execució, a més de ser innecessari, ja que, com ja s'ha explicat, les acceleracions experimentals no s'utilitzen directament per a la caracterització del cicle. Per tant, per a cada fitxer s'executa un script que elimina totes les localitzacions repetides. A aquesta acció se li

ha posat el nom de discretització, pel símil que suposa amb les estratègies de tractament digital de senyal. En l'annex II Fig. XVIII es presenta el codi utilitzat a tal efecte.

### Creació del camp d'alçada

Un cop eliminades les mostres repetides, l'ús del QGIS esdevé més àgil i es pot passar a solucionar el següent problema; l'obtenció del pendent. El primer pas consisteix en assignar a cada punt la seva respectiva alçada sobre el nivell del mar. Aquesta acció es fa a partir de les capes *Ràster* que facilita l'Institut Geogràfic Nacional, que proporcionen Models Digitals del Terreny (DMT) amb precisió de fins a 5 metres. Les dades d'aquesta capa s'agreguen a les del cicle i s'obté el valor de l'alçada per a cada punt.

### Creació del camp de pendent

Pel que fa a l'obtenció del pendent, es fa a partir de les dades d'alçada i distància recorreguda, però, per evitar valors que impliquin rampes puntuals incoherents amb el traçat, s'ha elaborat un mètode que no és trivial.

El fet de que el DMT utilitzat tingui una precisió de 5 metres és important a l'hora de calcular el pendent, ja que vol dir que el valor que s'assigna a l'alçada té un cert error que no es pot obviar. Aquest error ve donat per la pròpia naturalesa de la capa d'alçades, que consisteix en una malla formada per píxels quadrats, cada un dels quals representa una superfície real de 5x5 metres (d'aquí el valor de precisió), en la que a cada píxel se li assigna un valor d'alçada. El valor assignat correspon a l'alçada mitjana de la superfície representada. Així doncs, dos punts molt propers entre ells però separats per una frontera de píxel poden tenir alçades significativament diferents. Aquest fet serà especialment problemàtic quan el vehicle viatgi a velocitats baixes o fins i tot estigui quiet, ja que les mostres estaran molt juntes entre si i, en cas d'utilitzar un criteri de càlcul del pendent poc apropiat, es crearien valors completament desmesurats.

Un cop estudiades diferents alternatives, la solució que finalment s'ha aplicat consisteix, en primer lloc, en calcular el pendent segons la fórmula descrita en l'Equació 5.2.

$$pendent_i = \frac{h_{i+n} - h_i}{x_{i+n} - x_i}$$

*Equació 5.2*

On,

$$h = \text{Alçada}$$

$$x = \text{distància recorreguda}$$



$$n = 1,2,3,4 = \text{nombre corrector}$$

La fórmula utilitzada serveix per corregir la gran majoria de valors anòmals. Tot i així apareixen nombrosos pics que cal corregir per depurar el resultat final. Per fer-ho, s'utilitza el filtre *Savitzky–Golay* definit a la llibreria SciPy de Python. Aquest filtre suavitza les arestes d'una funció sense alterar el valor de la mitjana de la funció filtrada. A efectes pràctics implica que suavitza els pics puntuals que apareixen sense modificar el pendent global de la via, que és precisament el que es busca. Ara bé, que passa amb els valors anòmals que resten?

Tot i haver aplicat aquests dos passos, queden valors del pendent anòmals corresponen a punts amb velocitat 0, és a dir, instants de temps en el que el vehicle no s'està movent però per contra incrementa la distància recorreguda. Això es deu a la inexactitud del GPS i a la pràctica només és problemàtic en el càlcul del pendent, per els motius assenyalats anteriorment. En els pocs casos en que s'ha donat aquesta circumstància, s'ha optat per manipular el valor del pendent i situar-lo a 0. En la Fig. 5.2 es mostra un exemple en que s'ha aplicat el tractament per les dades obtingudes al carrer Numància.

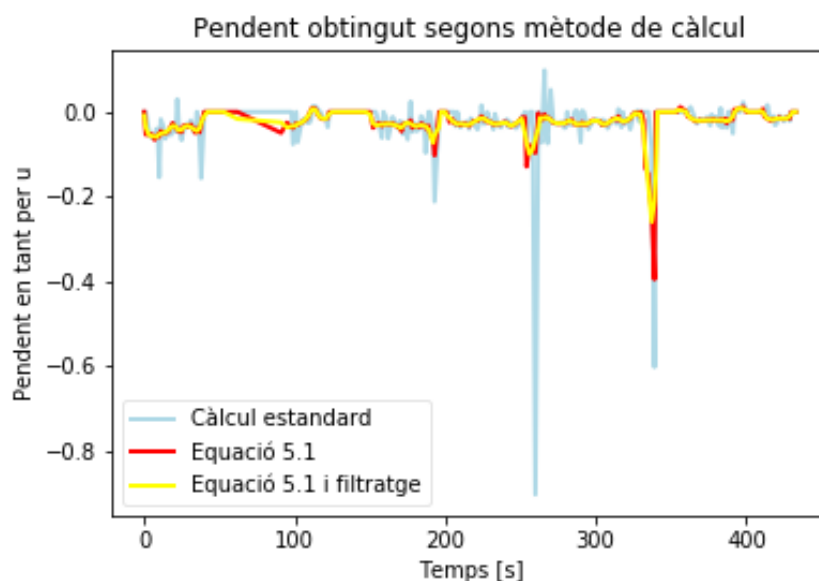
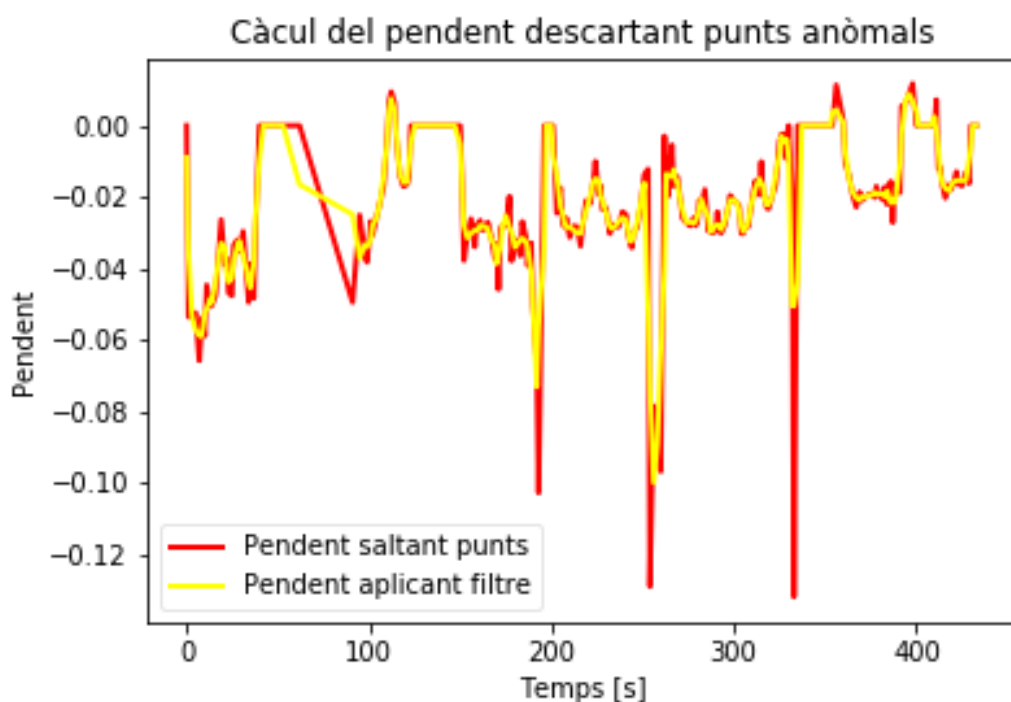


Fig. 5.2 Pendents obtinguts aplicant diferents mètodes de càlcul.

El càlcul estàndard del pendent equival a utilitzar la fórmula anterior considerant  $n=1$ , mentre que en la resta es considera  $n=3$  i en el cas del darrer, també se li aplica el filtre esmentat. Aquest canvi, elimina la majoria de pics, sense generar diferències substancials en el pendent mitjà del cicle ni necessitat de manipulació de les dades anòmales. S'observa també l'acció del filtre, que suavitza els vèrtex. En aquest exemple, s'ha considerat que el pic que ha resultat, que suposa un tram amb més del 20% de pendent, segueix sent desmesurat i per

tant cal modificar els valors. Per inspecció directa de les dades, s'observa que el punt anòmal correspon efectivament a un punt de velocitat 0 i per tant es pot eliminar sense més.

En la Fig. 5.3 es mostra el gràfic resultant al descartar els punts anòmals i aplicar novament el filtre. En aquest cas, el pendent màxim resultant (en groc) se situa en un 10% i per tant es considera acceptable. Cal notar que els pendents presentats en les Fig. 5.2 i 5.3 corresponen al mateix cicle, però l'existència de valors anòmals en el primer fa modificar el factor d'escala de la gràfica de manera que es fa difícil identificar semblances amb els dos gràfics. Aquest fet, però pot ajudar a donar una idea de fins a quin punt resulta problemàtica l'existència de valors anòmals.



*Fig. 5.3 Càlcul del pendent modificant valors anòmals.*

Amb aquest procediment que s'ha presentat, doncs, s'aconsegueix eliminar punts de pendent impossible que, malgrat tenir una incidència petita en el còmput global del cicle, generarien anomalies locals en la simulació que farien minvar la credibilitat dels resultats. El codi empleat en aquest apartat es pot consultar a l'annex II Fig. XX.

### Interpolació i creació de la matriu de dades

Un cop es disposa de totes les dades necessàries degudament tractades, cal fer front al problema generat per la freqüència variable de generació de dades del GPS. Això vol dir, en altres paraules, que entre mostra i mostra l'interval de temps és variable; a vegades és d'un segon, a vegades un segon i mig i d'altres gairebé dos. En casos excepcionals, l'interval pot ser més gran en els punts de velocitats 0 degut a la discretització descrita anteriorment.

El simulador Advisor necessita que els cicles estiguin definits en períodes constants i com a màxim d'un segon i per tant cal reescalar totes les dades per tal de poder fer les simulacions. Per fer-ho s'utilitza la interpolació lineal. La Fig. 5.4 mostra un exemple en que es comparen els resultats obtinguts amb interpolació lineal i amb interpolació quadràtica. La gràfica, per qüestions d'escala, correspon a un segment de cicle i permet observar que els punts originals no són equidistants i que en parat, hi ha un tram de 10 segons sense dades. Ambdues interpolacions aproximen molt bé la corba la major part del temps, però tenen problemes a l'inici de les acceleracions. La dificultat de corregir les velocitats negatives originades per la interpolació quadràtica, fa que s'opti per la primera opció, la interpolació lineal.

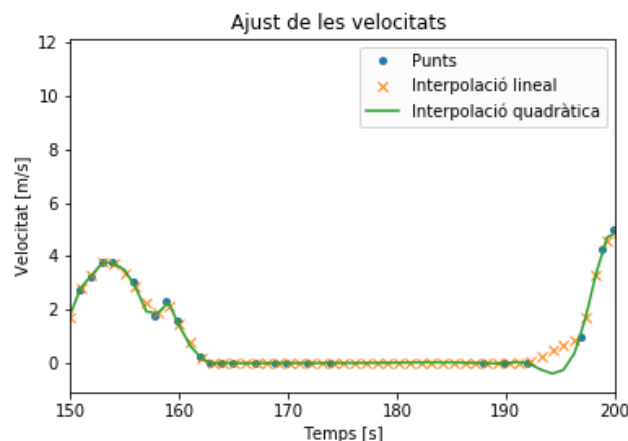


Fig. 5.4 Ajust de les velocitats usant interpolació lineal i quadràtica.

La interpolació de les dades es fa amb un script fet a mida que a més de generar la matriu de dades necessària per utilitzar el simulador, crea diferents gràfics que permeten verificar els resultats o, si s'escau, detectar anomalies. També s'aprofita per aplicar un factor de conversió a les velocitats per tal d'adequar-ne les unitats a les necessitats de l'Advisor, que al ser un programa americà, treballa en mph.

### Introducció del cicle a l'Advisor

Un cop tractades les dades, el darrer pas correspon a la introducció del cicle al programa Advisor. Aquest, està implementat en mòduls de manera que la tasca és relativament senzilla

i únicament demana de crear les variables *cyc\_mph*, corresponents a la velocitat instantània a cada segon i *cyc\_grade*, que estableix el pendent a cada tram. Aquests trams es poden definir de moltes maneres, com ara definint la mitjana del pendent de 100m en 100m, a cada quilòmetre o a cada metre. Al disposar de les dades, s'estableixen els trams obtinguts en cada diferencial de temps, de manera que s'aconsegueix definir el pendent al llarg de tot el recorregut de forma molt precisa.

### 5.2.3. Cicles obtinguts

A continuació es mostren els cicles que s'han caracteritzat, agrupats segons el carrer.

#### Carrer Numància

El cicle caracteritzat al carrer Numància de Barcelona abasta tot el recorregut de la Via, de direcció vertical i sentit Mar. És comparativament el més lent de tots els cicles observats, circumstància atribuïble a dos motius. En primer lloc, al fet que majoritàriament, no transcorre per la trama Cerdà de l'Eixample i per tant no es beneficia de l'alta eficiència en la gestió semafòrica del trànsit que es dona en la xarxa de carrers ortogonals. I per altra banda, al menor nombre de carrils que presenta en comparació amb altres vies estudiades.

|  | <i><b>MATÍ</b></i> | <i><b>MIGDIA</b></i> | <i><b>TARDA</b></i> |
|--|--------------------|----------------------|---------------------|
| <i><b>Distància recorreguda</b></i>    | 1510               | 1640                 | 1540                |
| <i><b>Pendent mitjà</b></i>            | -2,7%              | -2,5%                | -2,6%               |
| <i><b>Temps empleat</b></i>            | 360                | 411                  | 432                 |
| <i><b>Velocitat mitjana [km/h]</b></i> | 15,1               | 14,4                 | 12,88               |
| <i><b>Temps en parat</b></i>           | 108                | 112                  | 125                 |
| <i><b>Nombre de parades</b></i>        | 5                  | 3                    | 7                   |

*Taula 5-4 Taula resum dels cicles obtinguts al Carrer Numància.*

La Taula 5-4 mostra els principals indicadors dels cicles obtinguts . En comparació amb altres carrers, el temps en parat suposa una proporció molt elevada del temps total empleat en el cicle, fet que es tradueix en una velocitat mitjana molt reduïda ja esmentada. Respecte el pendent, cal indicar que les dècimes de diferència entre els diferents cicles són degudes a les petites diferències entre els corresponents punts d'inici i final de cicle. El següents gràfics, que mostren la velocitat en funció del temps i de l'espai, també reproduïxen aquestes petites diferències. Tanmateix, no és difícil identificar punts comuns en tots els cicles, com ara el semàfor de la diagonal (a uns 250m de l'inici) o el tram central del carrer, en el que s'encadenen més semàfors en verd.

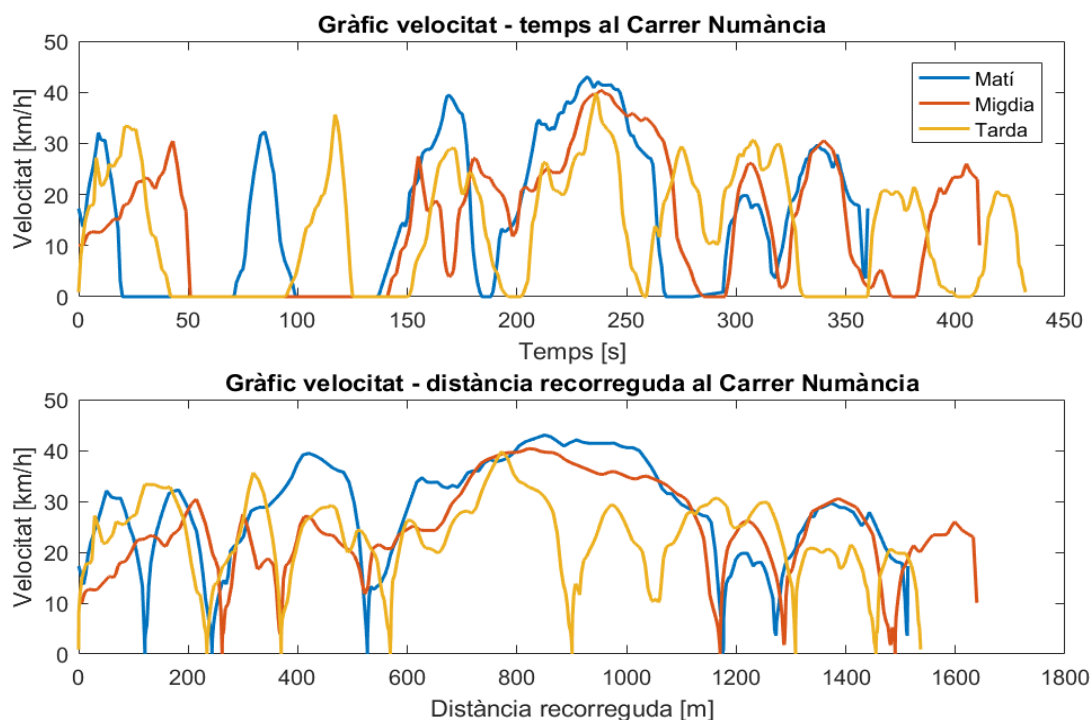


Fig. 5.5 Velocitats enregistrades en el cicles del Carrer Numància.

### Carrer Compte d'Urgell

Les principals característiques del cicle s'exposen a la Taula 5-5. S'observa que, així com el matí el cicle es produeix en una situació de fluïdesa del trànsit, al migdia, i sobretot a la tarda hi ha una certa congestió que fa disminuir considerablement la velocitat mitjana del tram. Pel que fa a les distàncies, varien per la dificultat de començar el cicle sobre parat sempre en el mateix punt, de manera que s'ha d'esperar a un semàfor en vermell. En el cas del cicle de la Tarda, a més, acaba uns metres abans que els altres al trobar-se congestionat i considerar innecessària allargar encara més el cicle en el temps.

|                                 | <b>MATÍ</b> | <b>MIGDIA</b> | <b>TARDA</b> |
|---------------------------------|-------------|---------------|--------------|
| <b>Distància recorreguda</b>    | 1200 m      | 1430 m        | 1017 m       |
| <b>Pendent mitjà (%)</b>        | 1,8%        | 1,8%          | 1,6%         |
| <b>Temps empleat</b>            | 190 s       | 264 s         | 298 s        |
| <b>Velocitat mitjana [km/h]</b> | 22,7        | 19,5          | 14,2         |
| <b>Temps en parat</b>           | 29 s        | 69 s          | 94 s         |
| <b>Nombre de parades</b>        | 2           | 3             | 4            |

Taula 5-5 Taula resum dels cicles de conducció al Carrer Compte d'Urgell.

En la Fig. 5.6 es presenten les velocitats a cada cicle en funció del temps i de la distància. Es pot observar com en el gràfic inferior, hi ha dos coincidències pel que fa a semàfors i en general, a la corba de la tarda descriu la mateixa forma però a velocitats més baixes, fet que,

juntament amb el temps parat en semàfor, disminueix dràsticament la velocitat mitjana de la tarda respecte del matí. En el cas del cicle del migdia, aquestes relacions no es poden observar tan fàcilment degut al desfasament produït al començar el cicle en un punt més allunyat que la resta, però s'endarrereix 200m tota la corba apareixen. La principal diferència pel que fa al matí i al migdia ja no és en les velocitats sinó en les parades, ja que al migdia el temps en parat dobla el del matí.

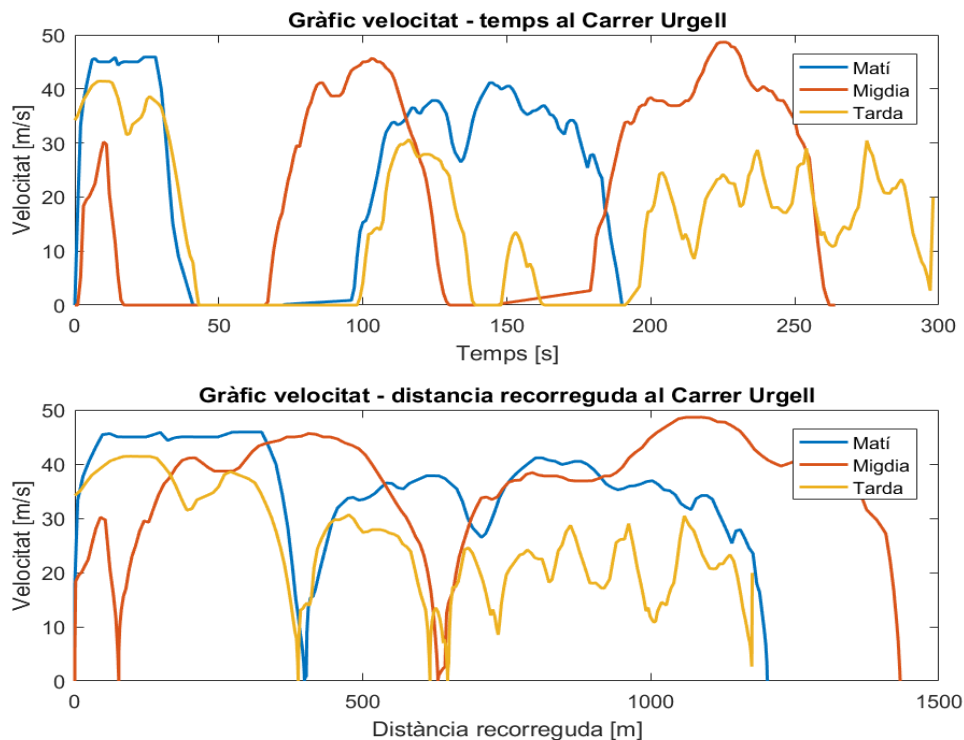


Fig. 5.6 Velocitats en funció de la distància i del temps als cicles del Carrer Compte d'Urgell.

### Carrer Aragó

El Carrer Aragó s'estudia en la major part del seu recorregut, en un tram que va des de la cruïlla amb el carrer Independència fins a la intersecció amb el Carrer Tarragona. El trànsit és dens en tots els casos, especialment al matí i migdia, però sense arribar a una situació de congestió, gràcies a l'elevat nombre de carrils, fins a 6 a la major part del traçat. En la Taula 5-6 es mostren els principals indicadors de cada cicle.

|                                 | <b>MATÍ</b> | <b>MIGDIA</b> | <b>TARDA</b> |
|---------------------------------|-------------|---------------|--------------|
| <b>Distància recorreguda</b>    | 4410 m      | 4370 m        | 4420 m       |
| <b>Pendent mitjà</b>            | 0,3%        | 0,3%          | 0,3%         |
| <b>Temps empleat</b>            | 933 s       | 846 s         | 778 s        |
| <b>Velocitat mitjana [km/h]</b> | 17,01       | 18,58         | 20,46        |
| <b>Temps en parat</b>           | 199 s       | 165 s         | 183 s        |
| <b>Nombre de parades</b>        | 11          | 7             | 5            |

Taula 5-6 Dades dels cicles efectuats al Carrer Aragó.

Pel que fa a les velocitats, en la Fig. 5.7 es mostra la seva distribució. Els gràfics permeten identificar alguns trams ràpids, sobretot en l'inici i al final, així com semàfors recurrents.

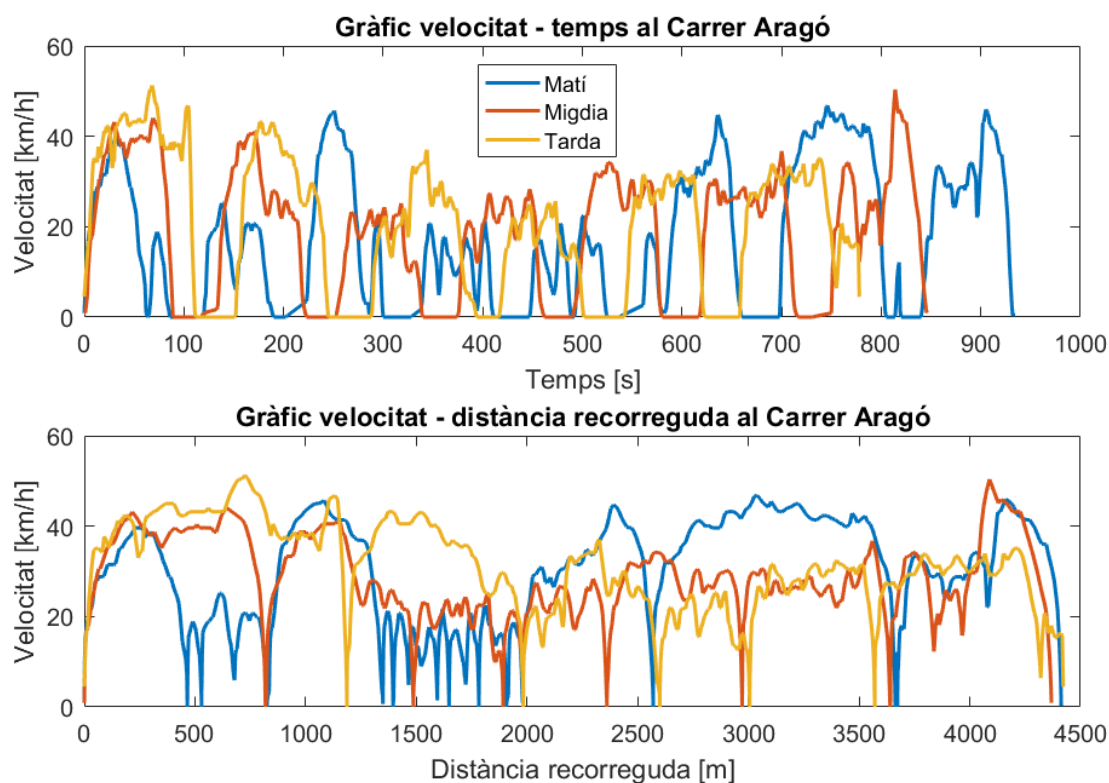


Fig. 5.7 Velocitats en funció del temps i de la distància recorreguda dels cicles del Carrer Aragó.

### Gran Via

Pel que fa a la Gran Via de les Corts Catalanes, el carrer més llarg de la ciutat, se n'estudia un tram que va des de plaça Espanya fins a la intersecció amb el Carrer Padilla. Al matí i a la tarda el trànsit és bastant dens, mentre que el tram del migdia transcorre amb total fluïdesa. El cicle de la tarda, de fet, s'ha hagut de tallar gairebé un kilòmetre abans del normal degut a una retenció molt important, que s'ha decidit no considerar.

|                                 | <b>MATÍ</b> | <b>MIGDIA</b> | <b>TARDA</b> |
|---------------------------------|-------------|---------------|--------------|
| <b>Distància recorreguda</b>    | 4410 m      | 4370 m        | 4420 m       |
| <b>Pendent mitjà</b>            | 0,3%        | 0,3%          | 0,3%         |
| <b>Temps empleat</b>            | 933 s       | 846 s         | 778 s        |
| <b>Velocitat mitjana [km/h]</b> | 17,01       | 18,58         | 20,46        |
| <b>Temps en parat</b>           | 199 s       | 165 s         | 183 s        |
| <b>Nombre de parades</b>        | 11          | 7             | 5            |

Taula 5-7 Dades del cicles obtinguts a la Gran Via.

La Fig. 5.8 mostra les velocitats assolides en el cicle.

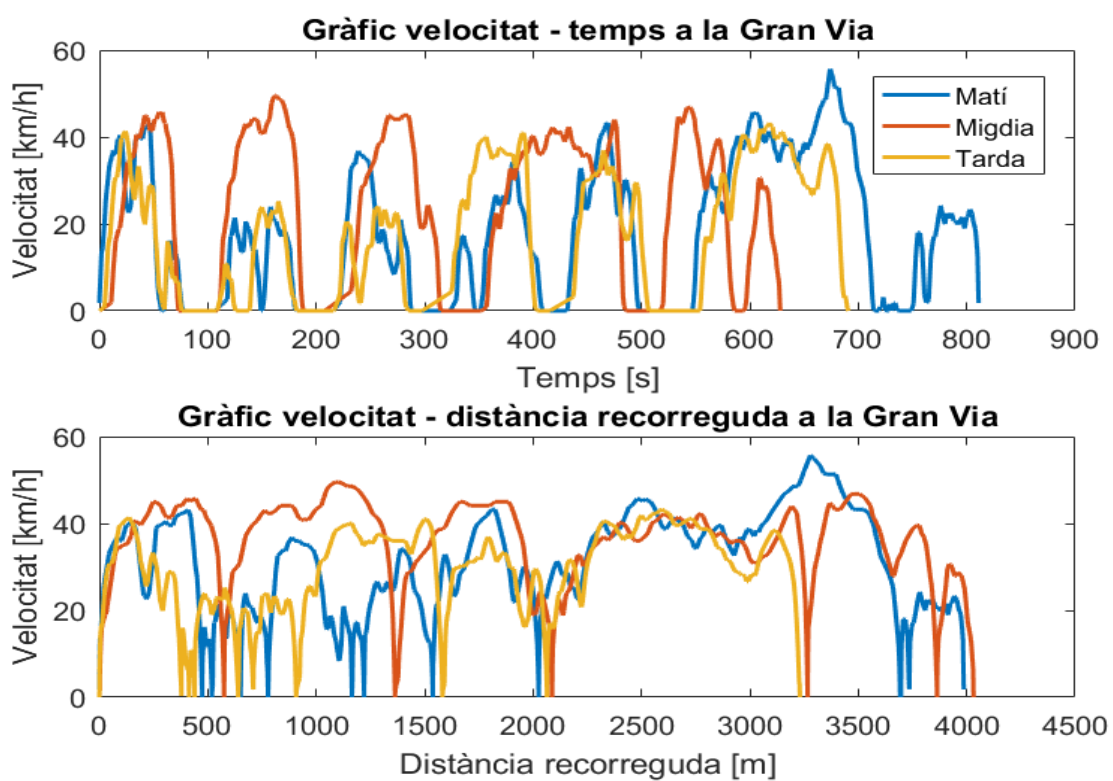


Fig. 5.8 Velocitats assolides en els cicles de la Gran Via.



## 6. Resultats

En aquest apartat, es presenten els resultats obtinguts a partir del treball de camp i el posterior tractament de les dades.

### 6.1. Estimació i anàlisi del consum i les emissions

A continuació es presenten les simulacions efectuades a partir dels cicles de conducció caracteritzats. Les variables a estudiar són el consum de combustible, les emissions de òxids de nitrogen (NOx) i les de partícules en suspensió (PM). S'han descartat de l'anàlisi les emissions d'Hidrocarburs (HC) i Monòxid de Carboni (CO), ja que no suposen riscos tan elevats per a la salut i, actualment, les ciutats no monitoritzen les concentracions d'aquests gasos en l'aire. Tampoc s'inclouen en l'anàlisi les emissions de Diòxid de Carboni (CO<sub>2</sub>), ja que el simulador no dona resultats d'aquest contaminant.

En l'exposició dels resultats es presentaran, en primer lloc, les simulacions efectuades utilitzant totes les dades que es tenen a l'abast, és a dir, les velocitats instantànies i el pendent. Els valors obtinguts serviran per a caracteritzar la via d'acord amb les IMHs calculades. En la simulació, es suposarà un turisme de mida mitjana, amb un motor Volkswagen turbo dièsel de 1,9L i catalitzador OxCat amb filtre de partícules dièsel. Tot seguit i utilitzant el mateix vehicle, es variaran diferents paràmetres i es valorarà com influeixen en els resultats. Els paràmetres a variar són l'ús del pendent, es farà una simulació obviant-lo, i l'ús de la velocitat instantània, és a dir, es considerarà un cicle ideal on el vehicle circula a la velocitat mitjana de la via de forma constant.

El principal motiu per efectuar simulacions suposant que els cicles s'efectuen a velocitat constant, és esbrinar quin és l'efecte que té sobre els resultats, donat que aquesta suposició s'utilitza molt sovint en les estimacions d'emissions. Un exemple d'utilització és dona en la metodologia Corinair amb la qual s'efectuen les estimacions d'emissions globals de tots els països de la Unió Europea. En el capítol dedicat en les emissions associades al transport, s'explica diferents algorismes d'estimació de contaminants de vehicles, tot ells prenen velocitats constants [8]. Caldrà veure, doncs, si en el cas de la conducció per ciutat, aquesta simplificació és adequada.

Finalment es modificarà el tipus de vehicle afegint al turisme inicial un motor elèctric que simuli la tecnologia híbrida. Cal destacar que aquesta combinació de motor dièsel amb elèctric és poc comuna ja que la majoria de fabricants construeixen únicament híbrids amb motors SI ('Spark ignition') de gasolina. A nivell acadèmic, però, s'ha considerat oportuna aquesta combinació per tal de poder obtenir resultats comparables amb les simulacions anteriors.

### 6.1.1. Carrer Numància

#### Simulació amb pendent

S'efectua una simulació considerant el pendent de la Via, que en aquest cas és descendent i d'un -2,5 % de mitjana. La Taula 6-1 mostra els consums i emissions obtingudes. En el cas del Consum, s'han obtingut uns resultats relativament elevats, especialment en el cicle de la tarda, que és més llarg i lent que la resta. La situació és equivalent pel que fa a les emissions.

|                                 | <b>MATÍ</b> | <b>MIGDIA</b> | <b>TARDA</b> |
|---------------------------------|-------------|---------------|--------------|
| <b>Combustible consumit [L]</b> | 0,163       | 0,172         | 0,197        |
| <b>Consum [L/100km]</b>         | 10,7        | 10,5          | 12,8         |
| <b>NOx [g/Km]</b>               | 0,90        | 0,68          | 1,00         |
| <b>PM [mg/Km]</b>               | 2,97        | 3,29          | 3,49         |

*Taula 6-1 Resum dels consums i emissions obtingudes en la simulació.*

Utilitzant les IMH recollides, la caracterització del consum i les emissions de la via és s'estima que els vehicles que circulen pel Carrer Numància en les hores punta indicades, generen prop de 2 kg de NOx, 7 g de PM i consumeixen uns 250 L de combustible.

|                                  | <b>Matí<br/>(8:00-9:00)</b> | <b>Migdia<br/>(12:00-13:00)</b> | <b>Tarda<br/>(18:00-19:00)</b> |
|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| <b>IMH [turismes/hora]</b>       | 1410                        | 1206                            | 1362                           |
| <b>Consum total a la Via [L]</b> | 229                         | 208                             | 268                            |
| <b>Nox [kg]</b>                  | 1,92                        | 1,35                            | 2,10                           |
| <b>PM [g]</b>                    | 6,33                        | 6,50                            | 7,32                           |

*Taula 6-2 Caracterització del consum i les emissions al Carrer Numància.*

#### Simulació sense pendent

En les simulacions en que es menysprea el pendent, el consum és lleugerament més elevat, un fet esperable donat que la via és de baixada i per tant té un pendent negatiu, que, al menysprear-lo, implicarà simular una demanda d'energia superior a la real. A la Taula 6-3 i la Fig. 6.1 s'observa aquest fet. En la taula es veu també que, a diferència del consum, no apareix una tendència clara que relacioni el pendent amb les emissions de NOx. Si que és clara, però, la disminució de les partícules en suspensió emeses al no considerar el pendent. Aquesta disminució pot semblar contradictòria, ja que s'està cremant més combustible però a la vegada s'emeten menys partícules, però es pot justificar en un ús diferent del motor, que provoca un augment en l'eficiència de la combustió, reduint així les emissions. En el subapartat següent es dona una possible explicació a aquest fet.

|                         | RESULTATS SENSE PENDENT |        |       | DIFERENCIA AMB PENDENT |           |           |
|-------------------------|-------------------------|--------|-------|------------------------|-----------|-----------|
|                         | MATÍ                    | MIGDIA | TARDA | MATÍ                   | MIGDIA    | TARDA     |
| <b>Consum (L/100km)</b> | 11,18                   | 11,38  | 13,44 | <b>4%</b>              | <b>8%</b> | <b>5%</b> |
| <b>NOx [g/km]</b>       | 0,89                    | 0,83   | 1,00  | -1%                    | 21%       | 0%        |
| <b>PM [mg/Km]</b>       | 2,68                    | 2,88   | 2,94  | -10%                   | -12%      | -16%      |

Taula 6-3 Taula comparativa de consums i emissions al considerar o no el pendent.

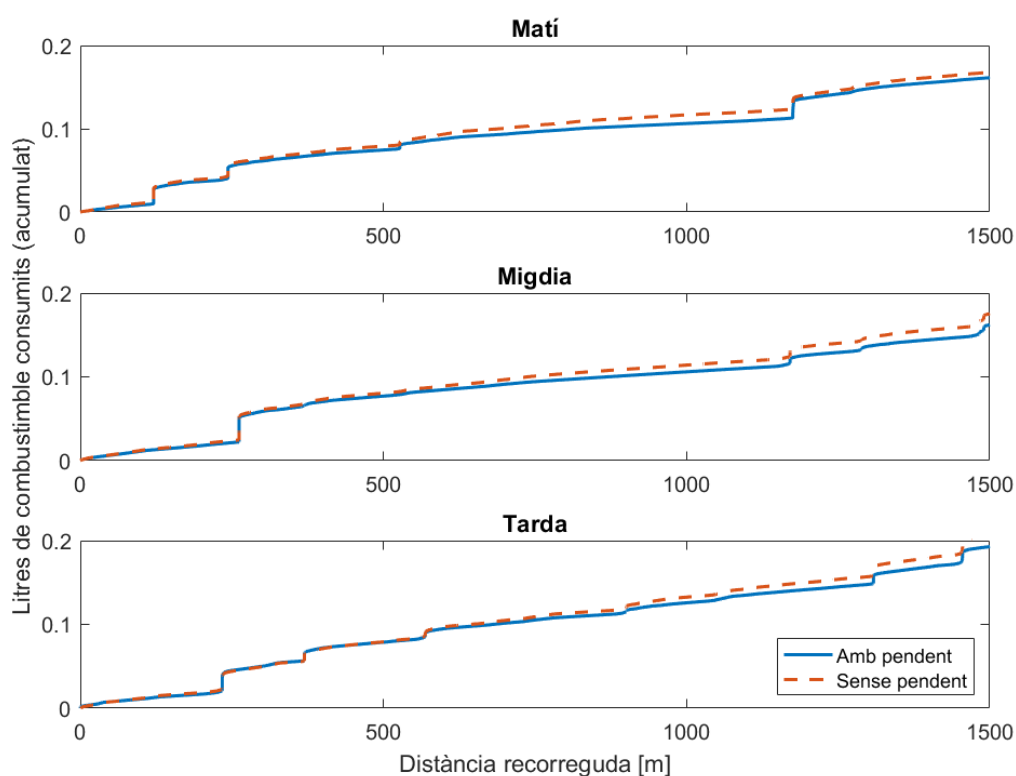


Fig. 6.1 Comparació del consum considerant pendent i no considerant-lo.

### Simulació a velocitat constant

En les simulacions fetes a velocitat constant, és a dir, sense tenir en compte les acceleracions, s'obtenen uns consums notablement més baixos, tal i com s'indica en la Taula 6-4. Pel que fa a les emissions, però, els resultats són molt dispersos i no semblen indicar una tendència clara que permeti identificar l'efecte de les acceleracions en els resultats. Si bé en el cas de les emissions d'Òxids de Nitrogen, es mostra un descens, aquest és molt desigual, mentre que les partícules en suspensió augmenten al matí i disminueixen notablement en els cicles de la tarda i el migdia. Aquest fet no s'atribueix a errors en la simulació, sinó en un error de concepte. El Simulador Advisor utilitza els mapes de contaminació del motor per, a cada instant, donar el valor de les emissions en funció de les rpm i el parell desenvolupats pel motor. Si hom

utilitza aquest mètode de càlcul per a estimar emissions en un cicle a velocitat constant, està forçant al motor simulat a treballar en un règim concret durant tot el cicle, de manera que es pot donar tant una situació en que el vehicle assoleixi una eficiència extraordinàriament alta, així com que aquesta sigui desmesuradament baixa des del punt de vista de les emissions. Això implica que, de simular un motor o un altre, els resultats varien notablement, ja que a la mateixa velocitat es pot trobar en un punt diferent del mapa d'emissions. El simulador, doncs, no està pensat per a treballar en aquestes situacions a baixes velocitats. En l'annex I es poden consultar els mapes d'emissions del motor utilitzat (Fig. IX i Fig. X).

|                         | RESULTATS A VELOCITAT CONSTANT |        |       | DIFERENCIA AMB ACCELERACIONS |        |       |
|-------------------------|--------------------------------|--------|-------|------------------------------|--------|-------|
|                         | MATÍ                           | MIGDIA | TARDA | MATÍ                         | MIGDIA | TARDA |
| <b>Consum (L/100km)</b> | 9,45                           | 9,30   | 9,38  | -12%                         | -11%   | -27%  |
| <b>NOx [g/km]</b>       | 0,30                           | 0,66   | 0,99  | -67%                         | -4%    | -0,7% |
| <b>PM [mg/Km]</b>       | 3,23                           | 2,64   | 1,51  | 8,6%                         | -20%   | -57%  |

Taula 6-4 Taula comparativa de consums i emissions segons si es consideren o no les acceleracions.

#### Simulació amb vehicle híbrid

Finalment, s'efectua la simulació utilitzant un vehicle híbrid. Al tractar-se d'una via de baixada, s'obtenen uns percentatges d'utilització del mode elèctric molt elevats, el que acaba repercutint en una disminució del consum de pràcticament a la meitat. Pel que fa a les emissions, la disminució és molt gran en els Òxids de Nitrogen i es situa propera al 70 %. Per altra banda, les partícules en suspensió registren baixades properes el 30%. En la Taula 6-5 es mostra la comparativa completa de resultats.

|                         | RESULTATS AMB VEHICLE HÍBRID |        |       | DIFERENCIA AMB DIÈSEL |        |       |
|-------------------------|------------------------------|--------|-------|-----------------------|--------|-------|
|                         | MATÍ                         | MIGDIA | TARDA | MATÍ                  | MIGDIA | TARDA |
| <b>Consum (L/100km)</b> | 5,594                        | 5,190  | 5,700 | -48%                  | -51%   | -55%  |
| <b>NOx [g/km]</b>       | 0,31                         | 0,18   | 0,30  | -65%                  | -74%   | -70%  |
| <b>PM [mg/Km]</b>       | 2,17                         | 2,29   | 1,91  | -27%                  | -30%   | -45%  |
| <b>Ús híbrid</b>        | -                            | -      | -     | 64%                   | 66%    | 71%   |

Taula 6-5 Taula comparativa de consums i emissions utilitzant un vehicle híbrid.

Per altra banda, en el gràfic de la Fig. 6.2 es presenta la comparativa de consums de la simulació entre un vehicle Dièsel pur i un d'híbrid. S'inclou també el mode (elèctric o motor de combustió) utilitzat pel vehicle híbrid en cada instant, de manera que es comprova l'ús que es fa del motor elèctric en bona part del cicle. Això permet apagar el motor de combustió no

només en els semàfors, sinó també en moviment, i explica el descens de consums i emissions presentat en la taula anterior.

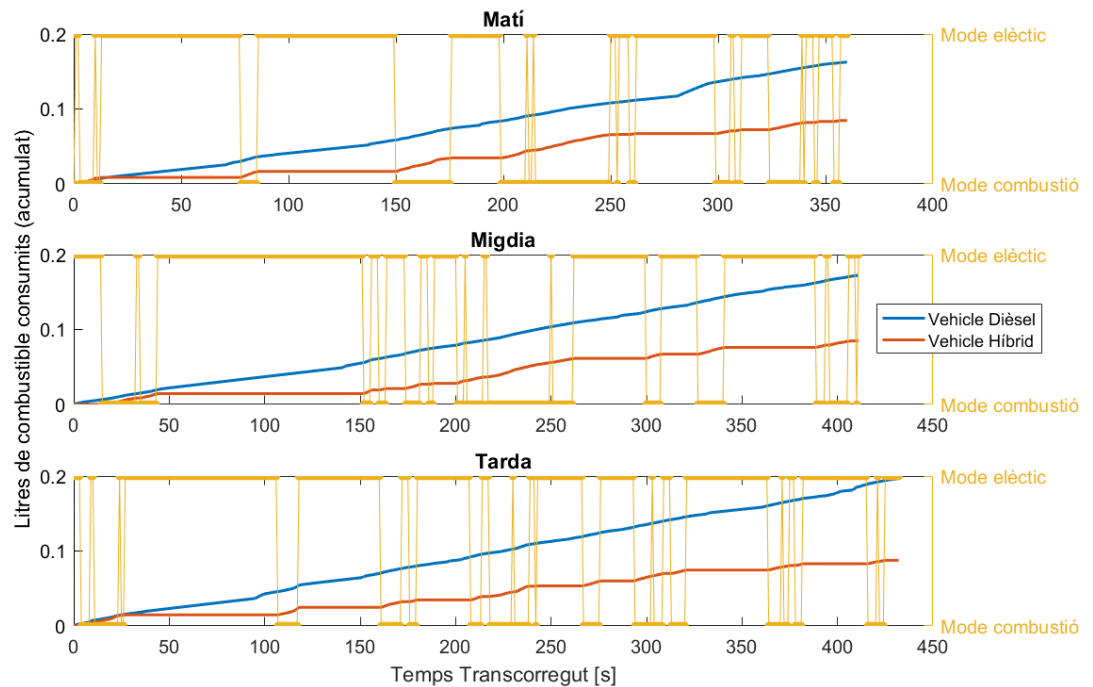


Fig. 6.2 Comparació de consums de combustible segons si s'utilitza el vehicle híbrid o no.

### 6.1.2. Carrer del Compte d'Urgell

#### Simulació amb pendent

S'efectua una simulació per a cada una de les tres franges horàries estudiades (Matí, Migdia Tarda) amb els cicles adquirits al carrer Compte d'Urgell i es modifiquen diferents paràmetres. Es comença avaluant el pendent. En la Fig. 6.3 es dibuixa el consum acumulat de combustible en funció de la distància recorreguda. En el gràfic es pot apreciar com els cicles enregistrats al matí i el migdia en una situació de certa fluïdesa, tenen un consum similar. Per altra banda, el cicle de la tarda té un consum molt més elevat, producte de la congestió de la via en el moment d'enregistrar-lo.

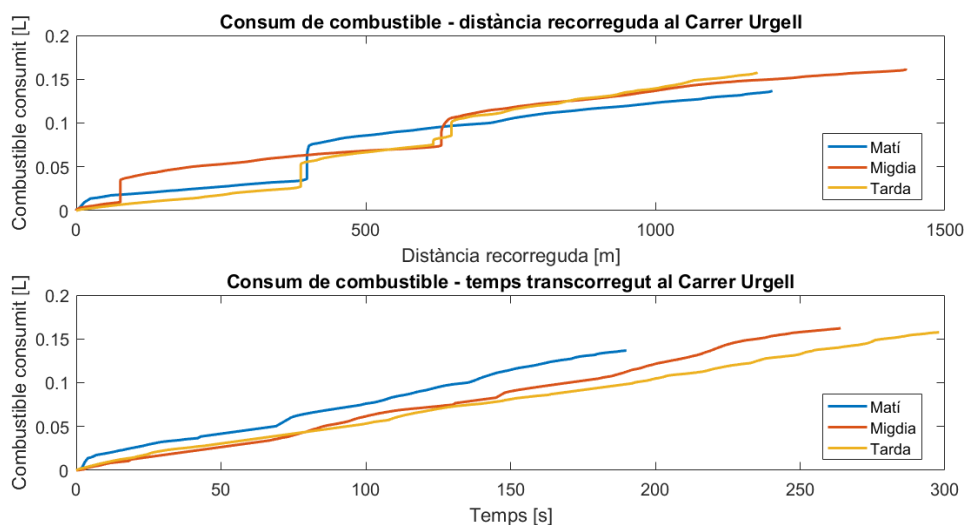


Fig. 6.3 Consum de combustible en funció de la distància recorreguda.

D'acord amb el gràfic inferior, però, aquest fet no es produeix per que el consum instantani sigui major (de fet, es veu clarament com succeeix tot el contrari), sinó que és degut al fet de necessitar més temps per efectuar el mateix recorregut, cosa que acaba per fer incrementar el consum de combustible global. Cal remarcar que, en el gràfic superior, els increments verticals corresponen principalment a consum en parat, no degut a acceleracions brusques.

La taula següent mostra els consums de combustible i emissions per a un sol vehicle. El cicle de la Tarda, malgrat ser el més lent i també el més curt, és pràcticament el que ha consumit més gasoil en xifres absolutes i el que presenta un consum relatiu més elevat, a més d'emetre més partícules en suspensió que cap dels tres estudiats.

|                                 | <b>MATÍ</b> | <b>MIGDIA</b> | <b>TARDA</b> |
|---------------------------------|-------------|---------------|--------------|
| <b>Combustible consumit [L]</b> | 0,137       | 0,162         | 0,158        |
| <b>Consum [L/100km]</b>         | 11,37       | 11,32         | 13,42        |
| <b>NOx [g/Km]</b>               | 0,98        | 0,88          | 0,78         |
| <b>PM [mg/Km]</b>               | 3,21        | 3,14          | 4,26         |

Taula 6-6 Consums i emissions al carrer Urgell.

Finalment, es presenten els consums i les emissions aproximades que es generen al Carrer Urgell en dia laborable en els intervals definits, partint dels resultats anteriors i les respectives intensitats mitjanes de la via. S'estima que en les hores puntes especificades, els vehicles que circulen pel carrer Urgell generen de l'ordre de 2 kg de NOx, 8 g de PM i consumeixen 300 L de combustible.

|                                  | <b>Matí</b><br><b>(8:00-9:00)</b> | <b>Migdia</b><br><b>(12:00- 13:00)</b> | <b>Tarda</b><br><b>(18:00-19:00)</b> |
|----------------------------------|-----------------------------------|--|--------------------------------------|
| <b>I.M.H. [turismes/hora]</b>    | 1896                              | 1800                                   | 1974                                 |
| <b>Consum total a la Via [L]</b> | 259                               | 292                                    | 311                                  |
| <b>NOx [Kg]</b>                  | 2,23                              | 2,26                                   | 1,56                                 |
| <b>PM [g]</b>                    | 7,30                              | 8,07                                   | 8,56                                 |

Taula 6-7 Consums i emissions al carrer Urgell.

### Simulació sense pendent

Es repeteixen les simulacions anteriors però en aquest cas, sense tenir en compte el pendent de la via. En la Fig. 6.4 es mostra l'efecte del pendent en el consum de combustible en cada cicle. Es s'observa com el consum disminueix notablement al obviar el pendent en tots els casos. La disminució del consum al menysprear el pendent de la via, que és del 1,8 %, és del 15 % al matí, del 17 % al migdia i del 15 % a la tarda.

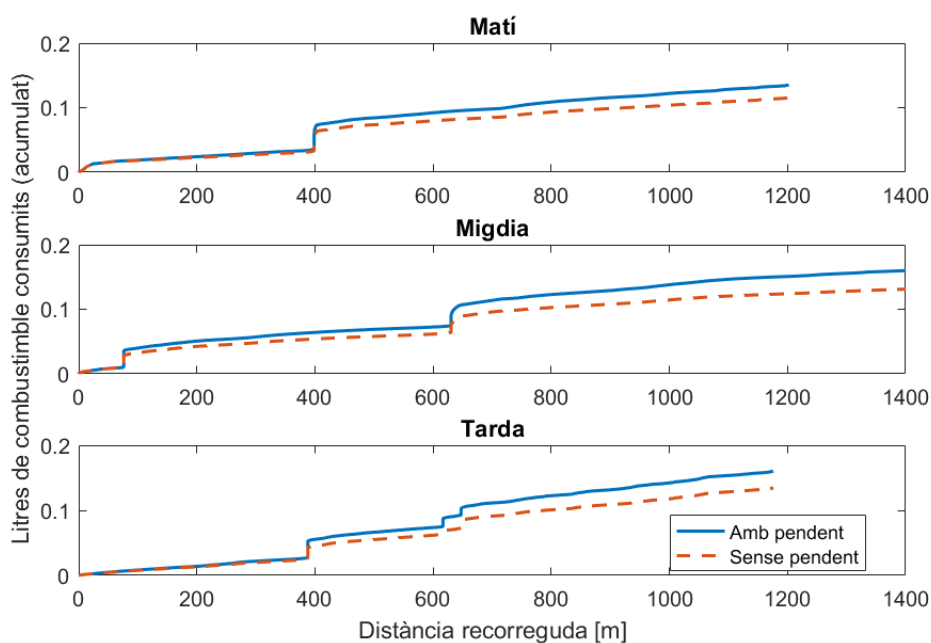


Fig. 6.4 Efecte del pendent en el consum de combustible segons distància recorreguda.

En Taula 6-8 es comparen els consums i les emissions obtinguts sense tenir en compte el pendent amb els que s'han obtingut avaluant el pendent. La relació que presenten entre ells no és lineal, però sí que s'observa que pel que fa tant al consum com els principals contaminants, al obviar el pendent s'obtenen xifres menors que al tenir-lo en compte. En la majoria del casos, a més, aquesta diferència és considerable.

|                         | RESULTATS SENSE PENDENT |        |       | DIFERENCIA AMB PENDENT |        |       |
|-------------------------|-------------------------|--------|-------|------------------------|--------|-------|
|                         | MATÍ                    | MIGDIA | TARDA | MATÍ                   | MIGDIA | TARDA |
| <b>Consum (L/100km)</b> | 9,64                    | 9,37   | 11,46 | -15%                   | -17%   | -15%  |
| <b>NOx [g/km]</b>       | 0,69                    | 0,77   | 0,79  | -29%                   | -13%   | 2%    |
| <b>PM [mg/Km]</b>       | 3,16                    | 2,38   | 2,52  | -2%                    | -24%   | -41%  |

Taula 6-8 Taula de comparativa de consums i emissions tenint en compte el pendent o obviant-lo.

### Simulació a velocitat constant

En aquest apartat s'executen les simulacions suposant els cicles equivalents a velocitat constant. Els resultats no indiquen cap relació entre els valors obtinguts en apartats anteriors. Apareixen resultats anòmals en totes les magnituds. En el cas del consum, per exemple, en apartats anteriors era molt similar al matí i al migdia, mentre que ara ho és al migdia i la tarda. El valor que s'enregistra al matí, anormalment petit, és atribuïble a que el motor treballa en una zona de rendiment òptim pel que fa al consum. De la mateixa manera, al migdia hi ha una situació de màximes emissions de partícules en suspensió i emissions d'òxids de nitrogen nul·les.

|                         | RESULTATS A VELOCITAT CONSTANT |        |       | DIFERÈNCIA AMB ACCELERACIONS |        |        |
|-------------------------|--------------------------------|--------|-------|------------------------------|--------|--------|
|                         | MATÍ                           | MIGDIA | TARDA | MATÍ                         | MIGDIA | TARDA  |
| <b>Consum (L/100km)</b> | 7,59                           | 10,71  | 10,14 | -33,3%                       | -5,4%  | -24,4% |
| <b>NOx [g/km]</b>       | 0,45                           | 0,00   | 0,65  | -54,0%                       | -99,9% | -16,5% |
| <b>PM [mg/km]</b>       | 1,74                           | 6,02   | 1,98  | -45,6%                       | 91,9%  | -53,6% |

Taula 6-9 Comparativa dels resultats obtinguts tenint en compte les acceleracions i sense.

### Simulació amb vehicle híbrid

Si s'utilitza el vehicle híbrid que s'ha definit per a l'estudi, la millora pel que fa al consum és evident. D'acord amb el gràfic següent, es pot comprovar que bona part de l'estalvi de combustible es produeix en parat, situació en la qual el vehicle híbrid atura el motor tèrmic.

Finalment, a la Taula 6-10 es comparen els resultats obtinguts utilitzant un vehicle Dièsel amb un d'Híbrid. Destaca el fet que el consum disminueix més respecte al dièsel com més lent és el cicle, és a dir, quan hi ha més congestió. Pel que fa a les millores en l'apartat de les emissions, són encara més notables que els resultats de consum, arribant a disminucions de fins el 62 %.



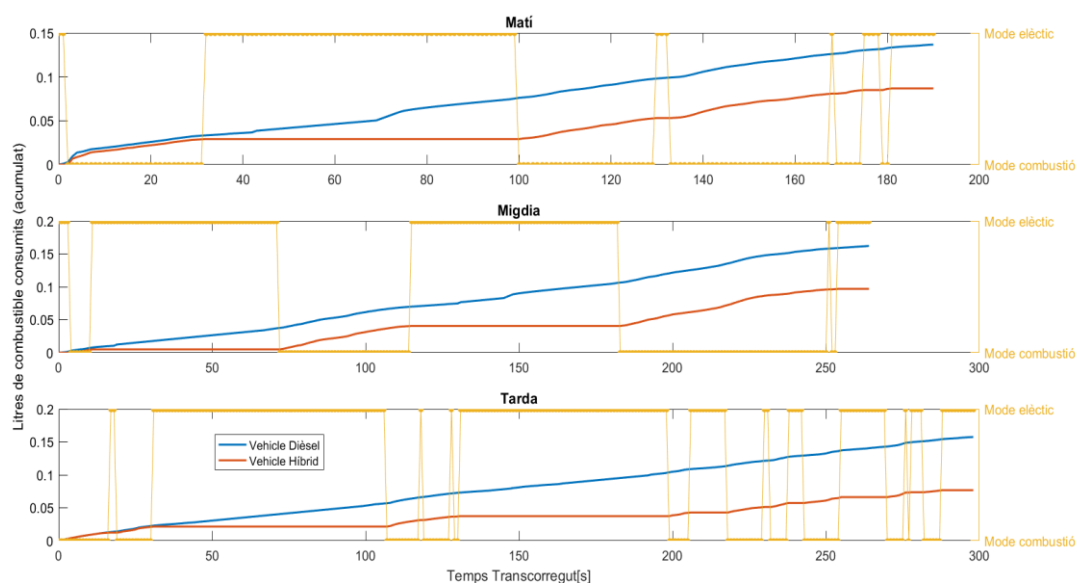


Fig. 6.5 Consum d'un vehicle Híbrid en comparació amb un Dièsel.

|                         | RESULTATS AMB VEHICLE HÍBRID |        |       | DIFERENCIA AMB DIÈSEL |        |       |
|-------------------------|------------------------------|--------|-------|-----------------------|--------|-------|
|                         | MATÍ                         | MIGDIA | TARDA | MATÍ                  | MIGDIA | TARDA |
| <b>Consum (L/100km)</b> | 7,22                         | 6,76   | 6,54  | -37%                  | -40%   | -51%  |
| <b>NOx [g/km]</b>       | 0,47                         | 0,48   | 0,35  | -52%                  | -45%   | -55%  |
| <b>PM [mg/Km]</b>       | 2,04                         | 1,87   | 1,61  | -36%                  | -40%   | -62%  |
| <b>Ús híbrid</b>        | -                            | -      | -     | 46%                   | 55%    | 66%   |

Taula 6-10 Comparació del Consum i les emissions en un vehicle híbrid i un dièsel.

### 6.1.3. Carrer Aragó

#### Simulació amb pendent

Malgrat que el carrer Aragó és, almenys a simple vista, bastant pla, les dades geoespacialen indiquen que té un cert pendent, positiu en la primera meitat i majoritàriament negatiu en la segona. Per tant, en aquesta fase de simulació també es tindrà en compte aquest pendent, per petit que sigui. La Fig. 6.6 mostra els consums obtinguts en cada cicle. S'observa com l'elevat nombre de parades en el tram central del cicle del matí fa elevar el consum per kilòmetre en aquest tram, però tan aviat com finalitza la congestió aquest fenomen queda neutralitzat. Aquest fet queda traduït en el gràfic inferior, on s'observa que els cicles del matí i del migdia presenten consums de combustible similars, mentre que al matí és netament inferior. D'acord amb el perfil de velocitats, aquest fet és atribuïble a la baixa velocitat mitjana que presenta el cicle del matí en front a la resta.

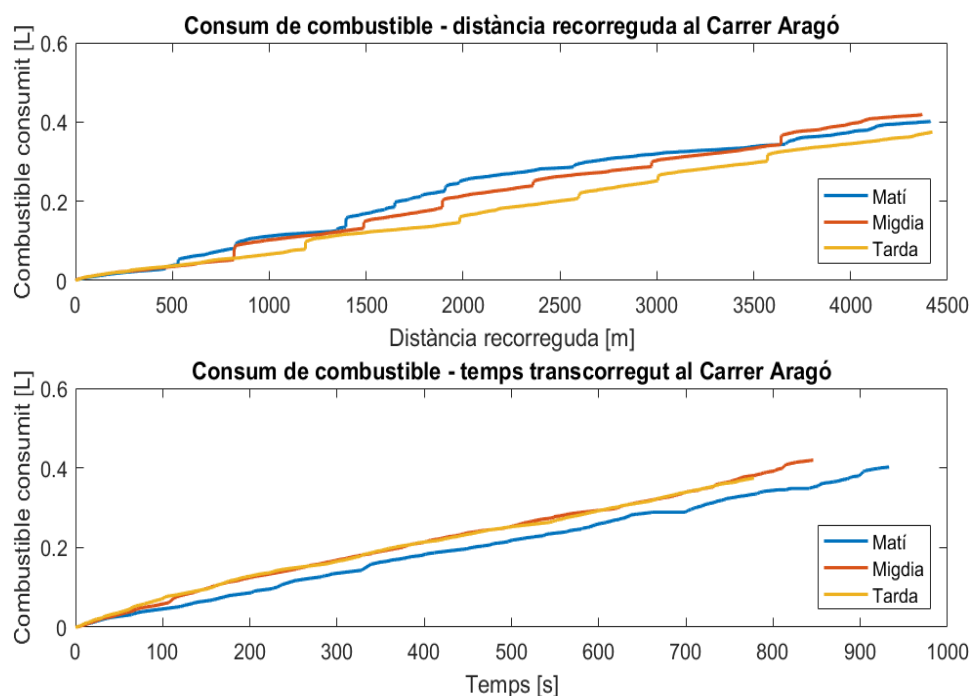


Fig. 6.6 Consums de combustible al carrer Aragó, tenint en compte el pendent de la via.

A la taula següent es presenten les xifres concretes dels cicles. On s'observa que els cicles més congestionats (Matí i Migdia) presenten consums i emissions superiors a al cicle de la Tarda, que es produeix en un escenari més fluid.

|                                 | <b>MATÍ</b> | <b>MIGDIA</b> | <b>TARDA</b> |
|---------------------------------|-------------|---------------|--------------|
| <b>Combustible consumit [L]</b> | 0,402       | 0,419         | 0,375        |
| <b>Consum [L/100km]</b>         | 9,11        | 9,60          | 8,47         |
| <b>Nox [g/Km]</b>               | 0,76        | 0,62          | 0,51         |
| <b>PM [mg/Km]</b>               | 1,56        | 1,51          | 1,44         |

Taula 6-11 Resultats dels cicles del Carrer Aragó tenint en compte el pendent de la via.

Tenint en compte els fluxos de vehicles en IMH obtinguts i els resultats del tram estudiat del carrer Aragó, s'estima que en aquesta Via i en les hores punta estudiades, es produeixen al voltant de 10 kg de NOx, 20 g de PM i es cremen 1200 L de combustible.

|                                  | <b>Matí</b><br><b>(8:00-9:00)</b> | <b>Migdia</b><br><b>(12:00- 13:00)</b> | <b>Tarda</b><br><b>(18:00-19:00)</b> |
|----------------------------------|-----------------------------------|--|--------------------------------------|
| <b>IMH [turismes/hora]</b>       | 3270                              | 3120                                   | 3036                                 |
| <b>Consum total a la Via [L]</b> | 1315                              | 1309                                   | 1137                                 |
| <b>NOx [Kg]</b>                  | 10,92                             | 8,41                                   | 6,80                                 |
| <b>PM [g]</b>                    | 22,47                             | 20,61                                  | 19,39                                |

Taula 6-12 Dimensionament del consum i les emissions al carrer Aragó.

### Simulació sense pendent

Si per contra, es considerés que el pendent és menyspreable, els resultats, pel que fa al consum, varien lleugerament. En la Fig. 6.7 s'expressa l'increment del consum acumulat durant el cicle segons si es considera el pendent o no. Els pics bruscos s'expliquen pels diferents punts d'acceleració, en els quals l'existència de pendent influeix especialment, disparant el consum. Cal indicar que, al ser un acumulat, aquests pics queden sobredimensionats en els primers metres i infradimensionats en els darrers.

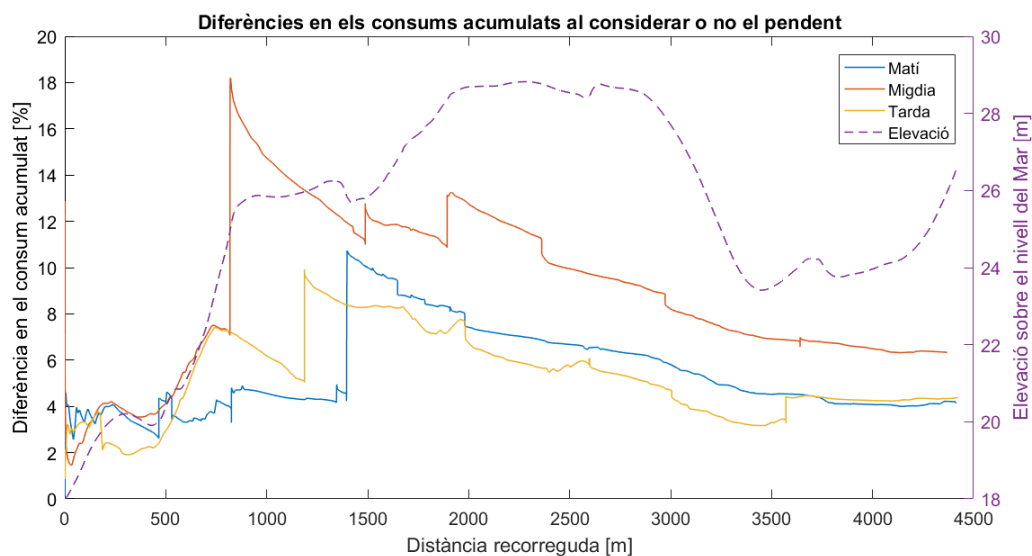


Fig. 6.7 Augment del consum acumulat al considerar el pendent.

La Taula 6-13 mostra la comparació de resultats segons si s'utilitza pendent o no. Com ja s'havia observat en el gràfic, el consum decreix lleugerament al menystenir el pendent, malgrat que aquest és de tant sols el 0,3 %. Pel que fa a les emissions, els resultats no són tan clars però sí que s'observa unes emissions més baixes al menystenir el pendent.

|                         | RESULTATS SENSE PENDENT |        |       | DIFERENCIA AMB PENDENT |        |       |
|-------------------------|-------------------------|--------|-------|------------------------|--------|-------|
|                         | MATÍ                    | MIGDIA | TARDA | MATÍ                   | MIGDIA | TARDA |
| <b>Consum (L/100km)</b> | 8,73                    | 8,99   | 8,10  | -4%                    | -6%    | -4%   |
| <b>NOx [g/km]</b>       | 0,67                    | 0,59   | 0,55  | -11%                   | -4%    | 8%    |
| <b>PM [mg/Km]</b>       | 1,56                    | 1,40   | 1,33  | 0%                     | -7%    | -8%   |

Taula 6-13 Resultats obtinguts menyspreant el pendent.

### Simulació a velocitat constant

Al menystenir les acceleracions, s'obtenen els resultats presentats a la Taula 6-14. L'impacte d'aquesta consideració sobre el consum és difús. Si bé als cicles del Matí i la tarda disminueix

el consum, al de la tarda augmenta notablement. En qualsevol cas, s'observa que pel que fa al consum, al menystenir les acceleracions les diferències entre cicles diferents són més baixes.

En relació a les emissions, els resultats mostren xifres absolutament dispars en comparació a les obtingudes al incloure les acceleracions. Més concretament, les emissions d'òxids de nitrogen (NOx) queden pràcticament anul·lades, mentre que les partícules en suspensió PM creixen dràsticament. Com s'ha comentat anteriorment, això s'explica per en la situació dins del mapa d'emissions del motor simulat en que es troba cada cicle. En un cicle real, aquesta posició varia constantment degut a la variació continua del parell i la velocitat, però al menystenir les acceleracions, la posició dins del mapa és manté constant donant lloc a resultats completament esbiaixats.

|                         | RESULTATS A VELOCITAT CONSTANT |        |       | DIFERENCIA AMB ACCELERACIONS |        |       |
|-------------------------|--------------------------------|--------|-------|------------------------------|--------|-------|
|                         | MATÍ                           | MIGDIA | TARDA | MATÍ                         | MIGDIA | TARDA |
| <b>Consum (L/100km)</b> | 9,06                           | 9,29   | 9,39  | -1%                          | -3%    | 11%   |
| <b>NOx [g/km]</b>       | 0,10                           | 0,08   | 0,07  | -87%                         | -87%   | -86%  |
| <b>PM [mg/Km]</b>       | 2,40                           | 2,89   | 3,54  | 54%                          | 91%    | 145%  |

*Taula 6-14 Resultats obtinguts al menyspreant les acceleracions.*

#### Simulació amb vehicle híbrid

Finalment, s'analitzen les diferències al utilitzar un vehicle dièsel i un híbrid. La Fig. 6.8 mostra un descens notable del consum al incorporar la tecnologia híbrida en el vehicle.

|                         | RESULTATS AMB VEHICLE HÍBRID |        |       | DIFERENCIA AMB DIÈSEL |        |       |
|-------------------------|------------------------------|--------|-------|-----------------------|--------|-------|
|                         | MATÍ                         | MIGDIA | TARDA | MATÍ                  | MIGDIA | TARDA |
| <b>Consum (L/100km)</b> | 5,24                         | 5,54   | 5,53  | -42%                  | -42%   | -35%  |
| <b>NOx [g/km]</b>       | 0,318                        | 0,265  | 0,314 | -58%                  | -57%   | -38%  |
| <b>PM [mg/Km]</b>       | 1,59                         | 1,71   | 1,66  | 2%                    | 13%    | 15%   |
| <b>Ús híbrid</b>        | -                            | -      | -     | 60%                   | 55%    | 51%   |

*Taula 6-15 Comparació de resultats entre el vehicle Híbrid i l'elèctric.*

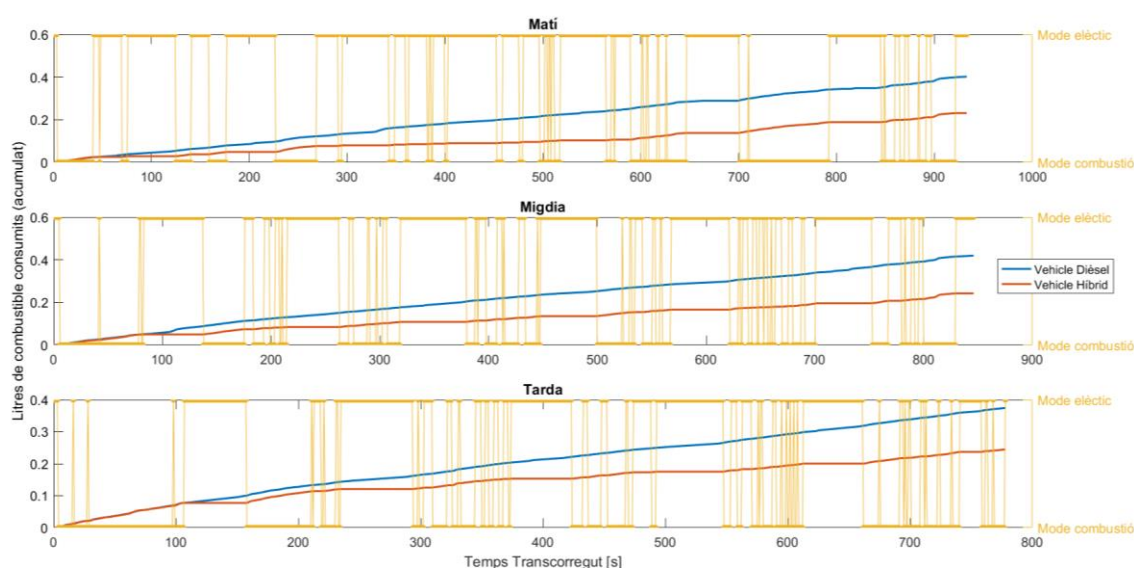


Fig. 6.8: Consum de Combustible d'un vehicle híbrid en comparació amb un de Dièsel.

S'observa que el mantenir el motor apagat durant les parades aconsegueix un estalvi notable, però l'estalvi de combustible també es produeix en moviment, tal i com es deriva de la fracció d'utilització que es mostra en la Taula 6-15 així com del gràfic anterior. El descens del consum comporta una davallada proporcional en l'emissió d'òxids de Nitrogen, però no de partícules en suspensió, que mantenen valors similars o fins i tot lleugerament superiors.

En l'annex I es poden consultar les gràfiques d'emissions obtingudes en aquest cicle segons les diferents variants de càlcul utilitzades (Fig. XI i fins a Fig. XIV).

#### 6.1.4. Gran Via

##### Simulació amb pendent

Així com succeeix amb el carrer Aragó i malgrat que sigui vagament perceptible sobre el terreny, la Gran Via registra un cert pendent. En aquest és cas majoritàriament de signe negatiu i del -0,3 % de mitjana. Per tant, i aprofitant que es tenen les dades, es faran simulacions tenint en compte aquest fet. En aquest cas concret, però, el dimensionament de la Via només es podrà fer en les franges del migdia i la tarda, d'acord amb la verificació explicada a l'apartat 5.1.2.

|                                 | <b>MATÍ</b> | <b>MIGDIA</b> | <b>TARDA</b> |
|---------------------------------|-------------|---------------|--------------|
| <b>Combustible consumit [L]</b> | 0,402       | 0,318         | 0,336        |
| <b>Consum [L/100km]</b>         | 10,1        | 7,89          | 10,4         |
| <b>NOx [g/Km]</b>               | 0,730       | 0,489         | 0,632        |
| <b>PM [mg/Km]</b>               | 1,82        | 1,58          | 2,12         |

Taula 6-16 Resultats del cicles a la Gran Via.

En la Taula 6-16 es mostren els resultats obtinguts en les simulacions, destacant el baix consum que assoleix el cicle del migdia, que al ser el més ràpid mostra els resultats més positius d'entre les tres franges horàries comparades. En la Taula 6-17 es mostra el dimensionament de la Gran Via d'acord amb les IMH calculades. I s'observa que per a les hores punta exposades i en el tram estudiat, es generen 4 kg de NOx, 13 g de PM i es consumeixen 650 L de combustible.

|                                  | <b>Migdia</b><br><b>(12:00- 13:00)</b> | <b>Tarda</b><br><b>(18:00-19:00)</b> |
|----------------------------------|--|--------------------------------------|
| <b>IMH [turismes/hora]</b>       | 2010                                   | 2010                                 |
| <b>Consum total a la Via [L]</b> | 640                                    | 675                                  |
| <b>NOx [Kg]</b>                  | 3,96                                   | 4,10                                 |
| <b>PM [g]</b>                    | 12,8                                   | 13,8                                 |

Taula 6-17 Dimensionament de la Gran Via.

### Simulació sense Pendent

A continuació es presenten les simulacions obviant el pendent. Donat les poques diferències que és produeixen quant al consum, únicament és mostren els resultats finals, ja que les gràfiques comparatives aporten poca informació. Si que és rellevant, però, esmentar que malgrat que seria d'esperar que el càlcul sense considerar el pendent donés resultats lleugerament més elevats que considerant el pendent, que és de mitjana negatiu, això no succeeix ben bé així. De fet, als cicle del matí i la tarda, al considerar el pendent, s'obtenen consums d'un ordre del 3 més elevats. Això també succeeix amb les emissions de partícules en suspensió.

|                         | <b>RESULTATS SENSE PENDENT</b> |               |              | <b>DIFERENCIA AMB PENDENT</b> |               |              |
|-------------------------|--------------------------------|---------------|--------------|-------------------------------|---------------|--------------|
|                         | <b>MATÍ</b>                    | <b>MIGDIA</b> | <b>TARDA</b> | <b>MATÍ</b>                   | <b>MIGDIA</b> | <b>TARDA</b> |
| <b>Consum (L/100km)</b> | 9,72                           | 7,97          | 10,1         | -3,5%                         | 1,0%          | -3,0%        |
| <b>NOx [g/km]</b>       | 0,739                          | 0,539         | 0,556        | 1,3%                          | 10%           | -12%         |
| <b>PM [mg/Km]</b>       | 1,50                           | 1,47          | 1,49         | -17%                          | -7%           | -30%         |

Taula 6-18 Comparativa de resultats segons si es considera el pendent o no.

### Simulació a velocitat constant

Pel que fa a les simulacions a velocitat constant, els resultats obtinguts són clarament discordants amb els que s'havien presentat fins ara dels cicles a la Gran Via. Si bé el consum decau entre un 10% un 20 %, unes xifres importants però no alarmants, la diferència en els NOx arriba a superar el 90%. Pel que a les partícules en suspensió, la tendència és més difusa, però indica unes emissions en qualsevol cas superiors i que es poden enfilars fins als 3 mg/km, amb un augment relatiu del 64% respecte a les simulacions a velocitat variable.

|                         | RESULTATS A VELOCITAT CONSTANT |        |        | DIFERENCIA AMB ACCELERACIONS |        |       |
|-------------------------|--------------------------------|--------|--------|------------------------------|--------|-------|
|                         | MATÍ                           | MIGDIA | TARDA  | MATÍ                         | MIGDIA | TARDA |
| <b>Consum (L/100km)</b> | 9,06                           | 6,17   | 9,14   | -10%                         | -22%   | -12%  |
| <b>NOx [g/km]</b>       | 0,0753                         | 0,197  | 0,0469 | -90%                         | -60%   | -93%  |
| <b>PM [mg/Km]</b>       | 2,99                           | 1,67   | 2,54   | 64%                          | 6,2%   | 20%   |

Taula 6-19 Comparativa de simulacions a velocitat constant.

Simulació amb vehicle híbrid

Si es canvia el vehicle Dièsel per l'híbrid, s'observa, tal com passa en els cicles anteriors, que la disminució en el consum és important. En aquest cas però, cal destacar que en el cicle del migdia, el més ràpid dels 3, el percentatge d'utilització del motor elèctric és comparativament menor que a la resta, cosa que acaba donant una millora de consum menor que la dels altres cicles. Aquest fet es pot atribuir a la major demanda de potència del cicle, una potència que en la majoria dels casos el motor elèctric no pot oferir. El resultat en termes absoluts, és que utilitzant un vehicle híbrid, els tres cicles acaben obtenint uns nivells de consum pràcticament idèntics. En el cas de les emissions, el vehicle híbrid també té un efecte igualador, però no és tant marcat com en els consums.

|                         | RESULTATS AMB VEHICLE HÍBRID |        |       | DIFERENCIA AMB DIÈSEL |        |       |
|-------------------------|------------------------------|--------|-------|-----------------------|--------|-------|
|                         | MATÍ                         | MIGDIA | TARDA | MATÍ                  | MIGDIA | TARDA |
| <b>Consum (L/100km)</b> | 4,96                         | 4,99   | 5,11  | -51%                  | -37%   | -51%  |
| <b>NOx [g/km]</b>       | 0,349                        | 0,285  | 0,253 | -52%                  | -42%   | -60%  |
| <b>PM [mg/Km]</b>       | 1,29                         | 1,43   | 1,21  | -29%                  | -9,4%  | -43%  |
| <b>Ús híbrid</b>        | -                            | -      | -     | 62%                   | 47%    | 61%   |

Taula 6-20 Comparativa de resultats segons el vehicle utilitzat..



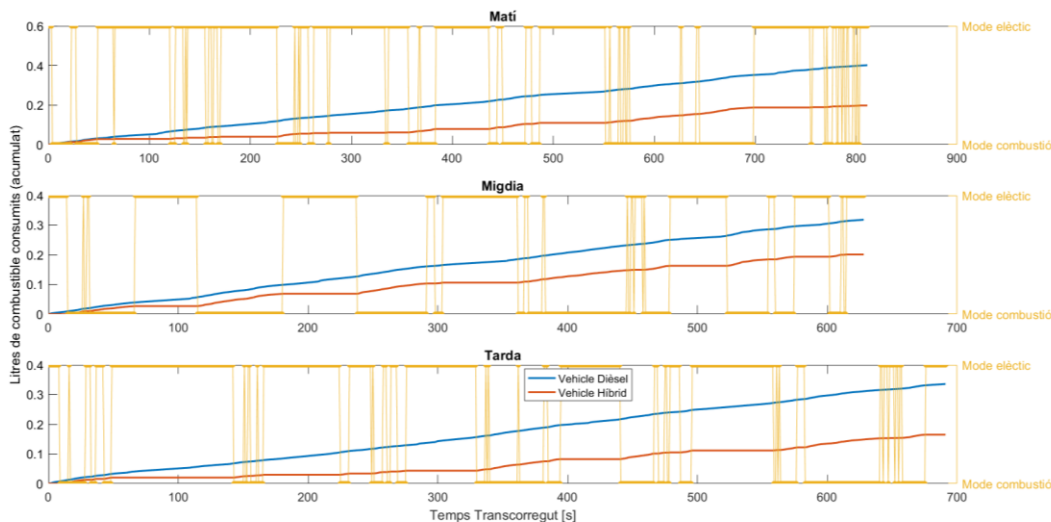


Fig. 6.9 Consums obtinguts en la simulació amb vehicle híbrid.

## 6.2. Anàlisi dels Resultats

Un cop presentades les dades de tots els cicles i simulacions, es condueix un anàlisi global de les dades. En aquest punt es tractarà de trobar tendències així com avaluar els efectes de les diferents suposicions efectuades en els resultats.

Per a realitzar aquest anàlisi, s'utilitzaran diferents tipus de gràfics, segons convingui, per representar de forma clara els resultats obtinguts. Entre ells, destaca el diagrama de caixa, també conegut com a 'boxplot' pel seu nom en anglès. Aquest diagrama, utilitzat, per exemple, en la Fig. 6.10, mostra la mediana de les mostres (línia vermella), n'especifica els quartils (representats en els límits superior i inferior de la caixa) i marca els valors màxims i mínims (representats en els extrems). Malgrat que es disposen de poques mostres com per parlar de conceptes com les medianes i els quartils, en alguns casos s'ha optat per utilitzar aquest diagrama donada la claredat en que presenta les dades. En altres casos, s'ha utilitzat diagrames de dispersió, per tal de detectar tendències i fins i tot gràfics de línies.

En primer lloc, es comparen les velocitats mitjanes obtingudes en els cicles. En la Fig. 6.10 s'observa que a excepció del Carrer Numància, que és, amb diferència, el més lent, les velocitats mitjanes obtingudes estan entorn els 19 km/h. En el cas del Carrer d'Urgell i la Gran Via, però la variabilitat és molt gran. Per altra banda, si s'agrupen els cicles segons franja horària, els més lents resulten ser els de Tarda i els de Matí. Les tres franges presenten una variabilitat semblant.

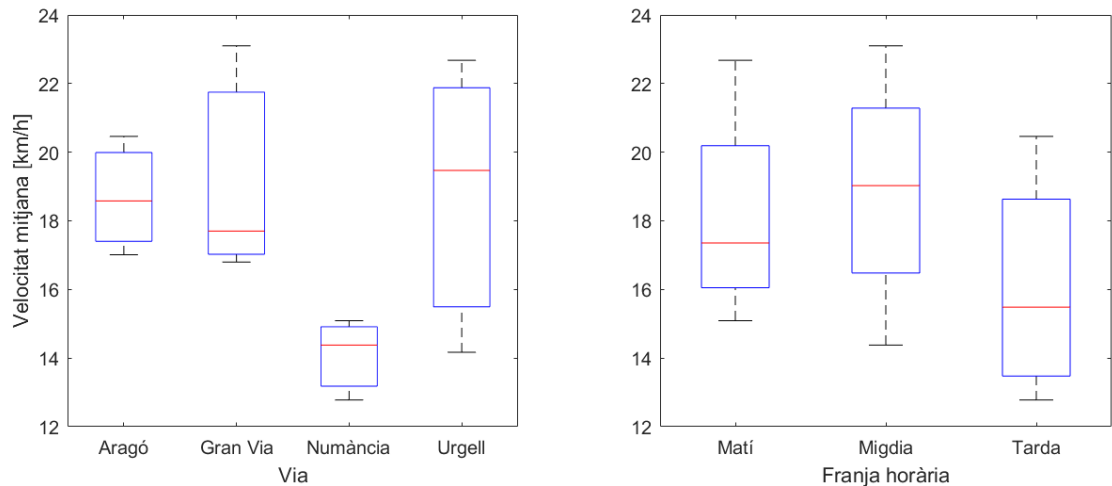


Fig. 6.10 Velocitats mitjanes als diferents carrers estudiats.

### Consum de Combustible

Pel que fa als consums, en la Fig. 6.11 s'observa com el Carrer Urgell és on es registra els valors més elevats, seguit del Carrer Numància. Curiosament, es tracta dels carrers amb els majors pendents, positiu i negatiu, respectivament. Més endavant s'analitza el motiu d'aquest fet. Per altra banda, el carrer Aragó és el que registra el nivell més baix i a més amb una variabilitat petita en comparació amb la resta.

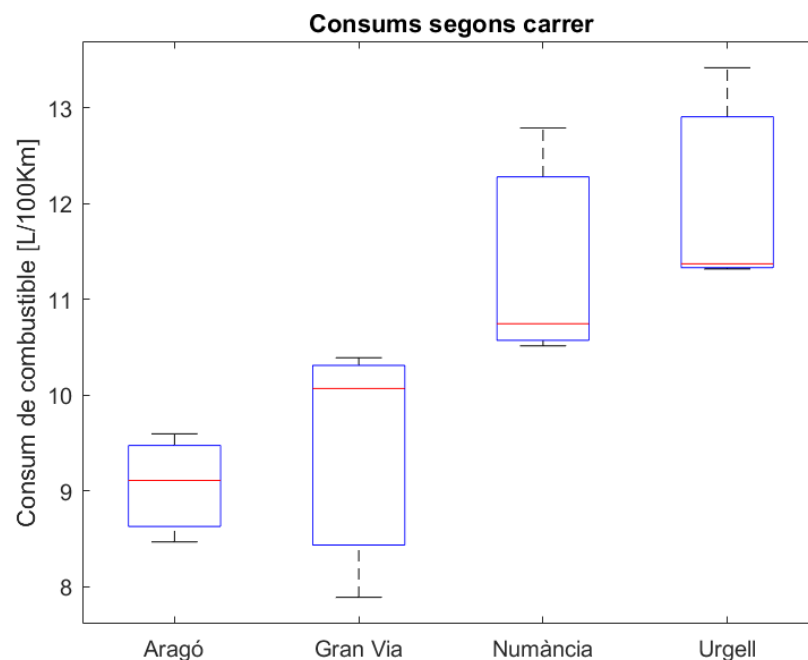


Fig. 6.11 Consums segons carrer.

A continuació, s'intentarà esbrinar quines circumstàncies fan pujar o disminuir el consum. Es comença avaluant els consums que s'obtenen al no considerar el pendent. En la Fig. 6.12 s'observa com existeix una clara correlació entre el Consum de combustible i la velocitat mitjana dels vehicles, de manera que aquells que circulen més lent, registren uns consums superiors. Cal recordar que la velocitat mitjana obtinguda en cada cicle depèn principalment de la congestió de la Via i de la eficiència de la gestió semafòrica.

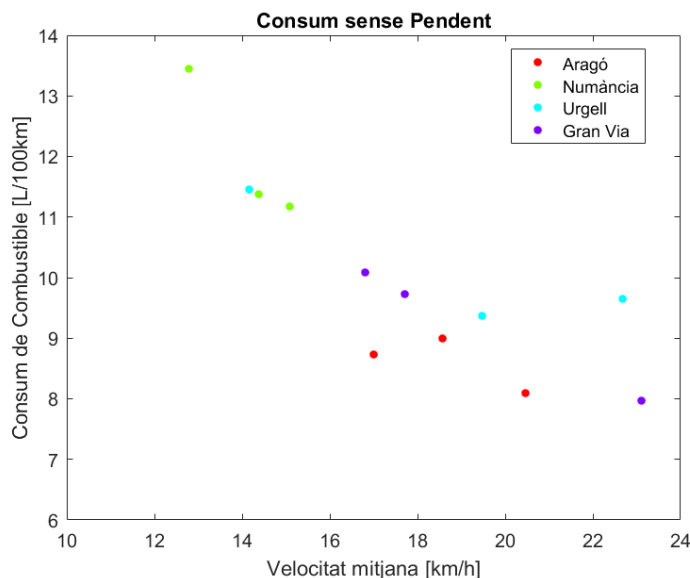


Fig. 6.12 Consum dels vehicles al obviar el pendent.

A continuació, es calcula per a cada cicle la diferència entre el consum obtingut al considerar-se el pendent i al no fer-ho. Els resultats es mostren a la Fig. 6.13 i denoten un impacte important en el consum degut a l'existència de pendent a la Via. En primer lloc, a la via amb el pendent més elevat, el Carrer Urgell, l'increment en el consum generat pel pendent és del voltant del 15%. Per contra, en la via amb el pendent més negatiu, és a dir, que fa més baixada, registra una reducció de tan sols el 5 %. S'observa, doncs, que el consum afegit al transitar una via ascendent no es compensa en el moment de transitar per una altra via de la mateixa inclinació, però descendent. Finalment, en les vies que registren menors valors de pendent s'observa com aquest també influeix, encara que lleugerament, en el consum. Cal recordar, però, que el perfil altimètric d'aquestes vies, el Carrer Aragó i la Gran Via, mostra un pic a la meitat de la mateixa, de manera que ambdues tenen trams ascendents i trams descendents.

Això, juntament amb el fenomen ja comentat consistent en que es perd molt més en pujada del que es recupera en baixada, explica per que les dues vies mostren augments lleugerament positius del consum de combustible al considerar-se el pendent. Un cop vistes aquestes dues relacions, s'entén el perquè de la Fig. 6.11, en que es mostra que els carrers amb majors consums són els carrers amb majors pendents, malgrat que un dels dos, el Carrer Numància,

es recorre de baixada. L'explicació rau en el fet que, malgrat que és de baixada, també és la via que registra una menor velocitat mitjana i això pesa molt més en el consum.

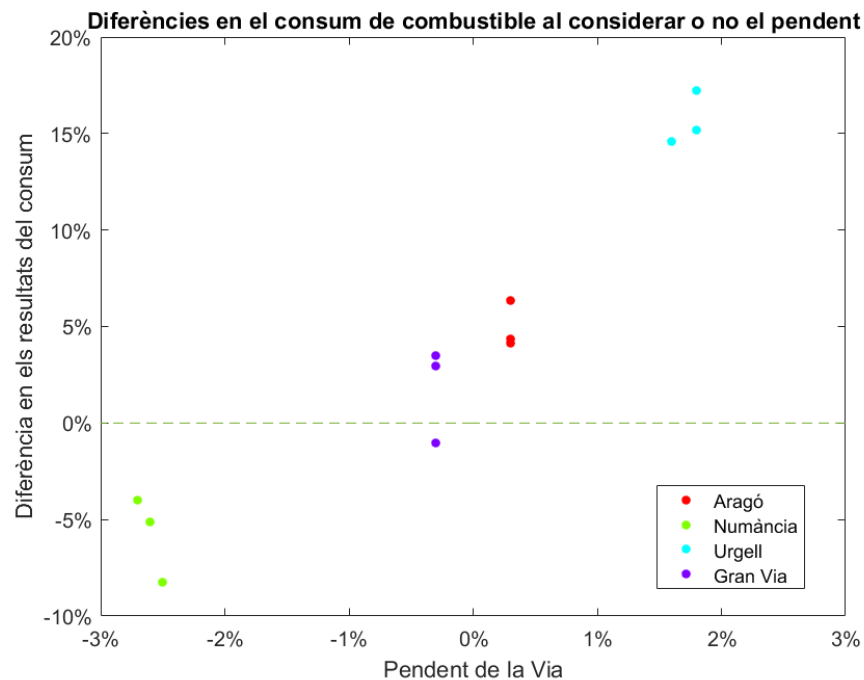


Fig. 6.13 Diferències en el consum segons si es considera o no el pendent.

S'ha explicat, doncs, quin és l'efecte de la velocitat mitjana i el pendent de la via en el consum dels vehicles. Ara es vol estudiar que succeeix si, per a simplificar els procediments (l'efectuació d'un treball de camp, el tractament de les dades, etc. ) es decidís estudiar el consum suposant que els vehicles circulen a velocitat constant. Per poder comparar aquestes simulacions amb les anteriors, es prenen els mateixos cicles i com a velocitat, s'agafa la velocitat mitjana obtinguda a cada cicle.

En la Fig. 6.14 s'observa com al fer aquesta consideració els consums s'igualen i es mantenen entre els 9 i 10 L de combustible per cada 100Km, sense mostrar cap relació amb la velocitat del vehicle. Per tal de donar una idea del que suposa aquest fet, s'ha utilitzat la mateixa escala que en els eixos de la Fig. 6.12, que mostra els consums obtinguts seguint els perfils de velocitats trobats. La diferència entre les dues figures és notable, i de mitjana, el fet de considerar la velocitat constant implica una reducció del 13,8 % respecte a la utilització del perfil de velocitat.

Cal esmentar, però, que hi ha una excepció. S'observa com un dels cicles de la Gran Via, el més ràpid, presenta un consum notablement inferior a la resta. Aquest resultat han estat recurrents al llarg de les simulacions, és a dir, cada cop que s'ha fet una simulació, considerant el pendent o no, a velocitat constant o variable o usant un vehicle híbrid, aquest cicle de la Gran Via ha registrat el consum més baix. En aquest cas concret i a diferència de la resta de

simulacions, però, el contrast és molt més elevat. Un cop efectuades nombroses comprovacions, s'ha conclòs que no estem davant d'un resultat erroni si no més aviat d'un resultat ideal, és a dir, aquest resultat mostra la millor resposta possible que pot oferir el vehicle a nivell de rendiment si els diferents factors que hi afecten ho fan de manera favorable. Quan s'analitzin els resultats amb el vehicle híbrid es donaran arguments a favor d'aquesta hipòtesi.

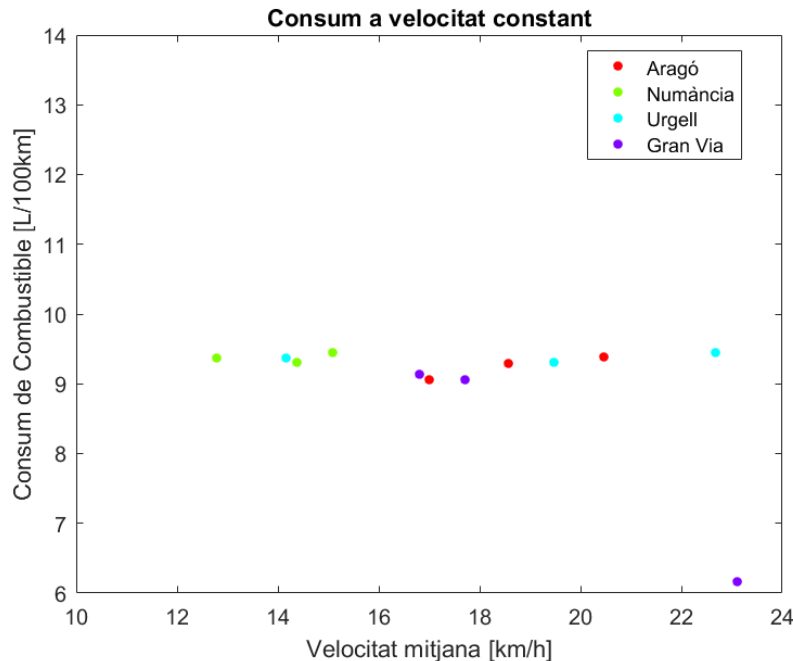


Fig. 6.14 Consums obtinguts a velocitat constant.

### Emissions de NOx i PM

Un cop analitzats els resultats de consum de combustible, es procedeix a fer el propi amb les emissions d'Òxids de Nitrogen i partícules en suspensió. Els resultats es reproduïxen agrupats en la Fig. 6.15. En aparença, i com era de suposar, es tracta d'una figura molt semblant a les de consum. Destaca el fet que als carrers Urgell i Numància, les emissions d'ambdós contaminants pràcticament doblen les obtingudes al carrer Aragó i a la Gran Via, cosa que no es produïa de forma tant accentuada en els consums. En el cas de les partícules en suspensió, és remarcable la poca variabilitat que es produeix en el carrer Aragó.

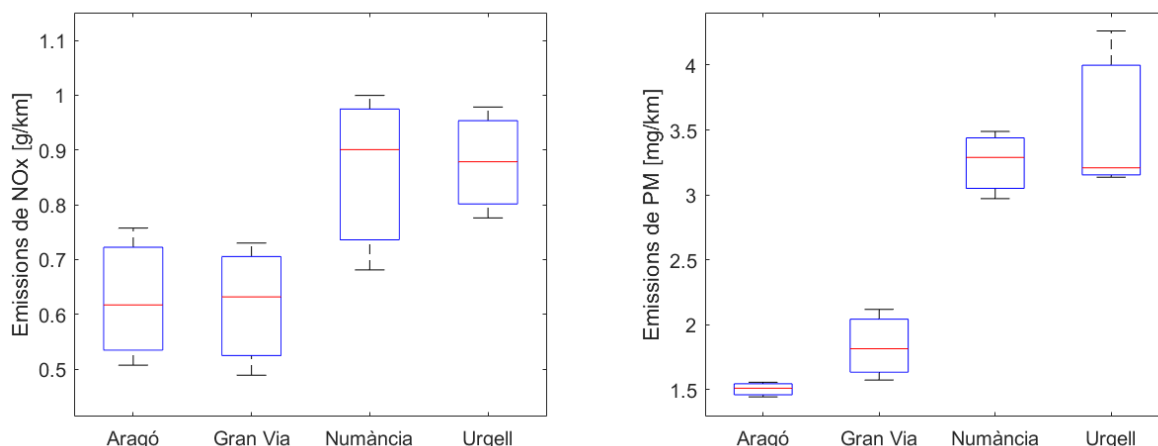


Fig. 6.15 Emissions de NOx i PM a cada carrer.

Aquesta relació entre consum i emissions s'observa més detalladament en la Fig. 6.16, en la que els resultats indiquen clarament que aquells carrers on s'ha produït un major consum de combustible, són també els que registren unes emissions més altes tant de NOx com de PM. A diferència del consum, no s'ha trobat una relació directa entre l'ús o no del pendent de la via i les emissions, ni tampoc s'ha observat cap relació directa entre la velocitat mitjana dels vehicles i les emissions. En l'annex I s'hi han afegit diferents gràfics en els que s'observa com no hi ha correlació entre aquestes variables (Fig. XVI i Fig. XVII).

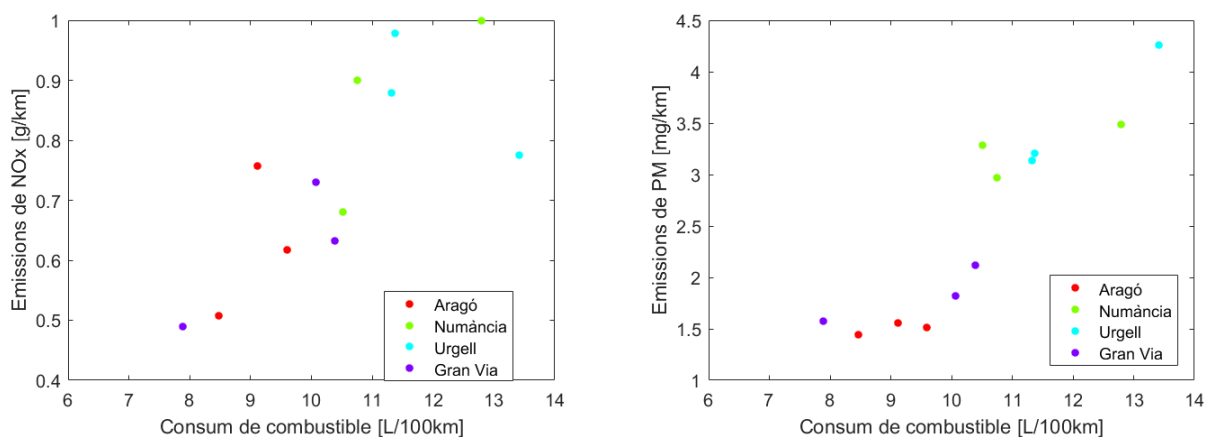


Fig. 6.16 Emissions de NOx i PM en funció del consum de combustible.

Si que és interessant observar que succeeix amb les emissions al considerar els cicles a velocitat constant. En la Fig. 6.17 s'observen les diferències obtingudes en el càlcul de les emissions, tant de NOx com de PM, segons si es consideren o no les acceleracions. Els gràfics mostren clarament que els valors obtinguts amb aquestes dues consideracions diferents són absolutament dispars i ens trobem amb diferències fins i tot superiors al 100%. Això fa pensar, per tant, que suposar cicles a velocitat per tal de fer estimacions d'emissions no és una pràctica raonable.

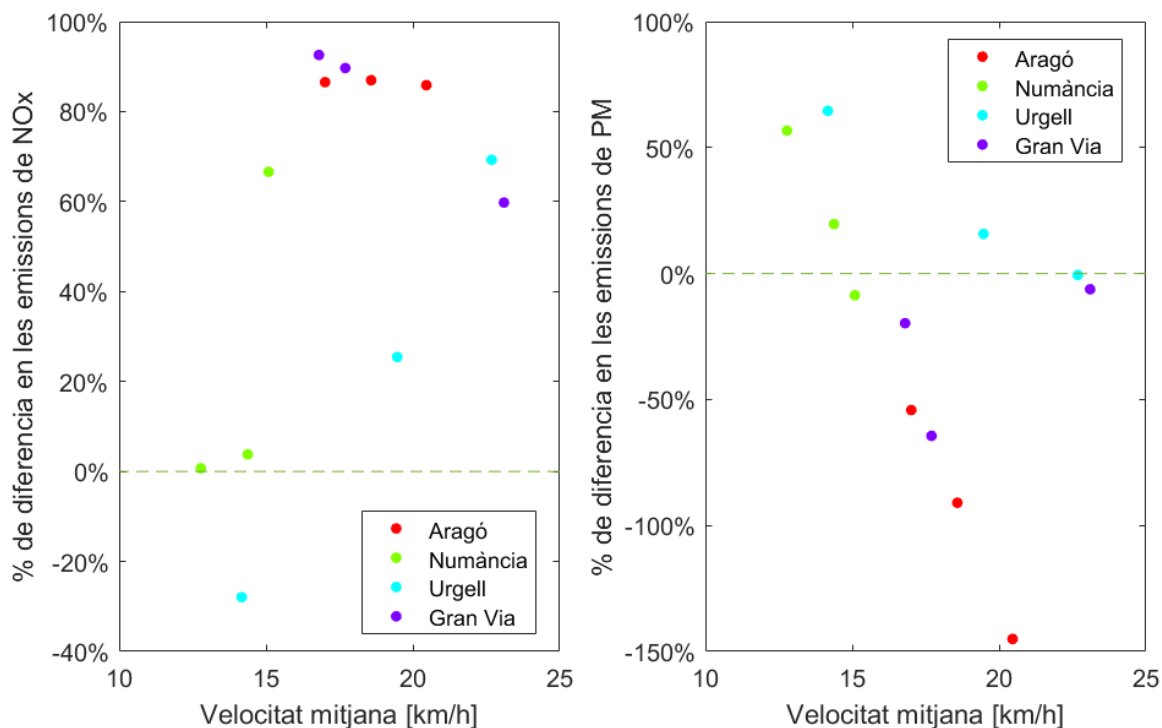


Fig. 6.17 Diferències en les emissions obtingudes segons si es consideren o no les acceleracions.

### Vehicle híbrid

La darrera consideració que s'ha efectuat ha estat la de suposar un vehicle híbrid seguint els mateixos cicles que el vehicle Dièsel considerat fins ara, per tal d'observar-ne les diferències. Com ja s'ha comentat anteriorment, s'ha suposat un vehicle híbrid de les mateixes característiques que l'anterior i amb el mateix motor Dièsel, de manera la millora que suposa el vehicle híbrid quan a consum i emissions vindrà donada únicament per l'ús del motor elèctric complementari instal·lat en paral·lel.

En la Fig. 6.18 es mostra el consum obtingut en els diferents cicles, segons si s'ha simulat un vehicle Dièsel o l'Híbrid esmentat. Els resultats obtinguts amb el vehicle híbrid presenten una reducció important del consum, situada entorn el 47%. A més, s'observa una certa homogeneïtzació dels consums obtinguts en el mateix carrer, és a dir, que per un mateix carrer, cicles diferents produeixen consums molt més similars entre ells del que ho són els consums obtinguts amb el vehicle Dièsel. Això implica que a l'utilitzar un vehicle híbrid, l'augment del consum degut a la congestió del trànsit i la corresponent reducció de la velocitat mitjana del cicle tenen un impacte menor en el consum del vehicle. Aquesta relació es pot observar en la figura Fig. 6.19. Per contra, si que s'observa que el pendent condicioni el consum del vehicle híbrid. La figura que ho mostra s'exposa en l'annex.



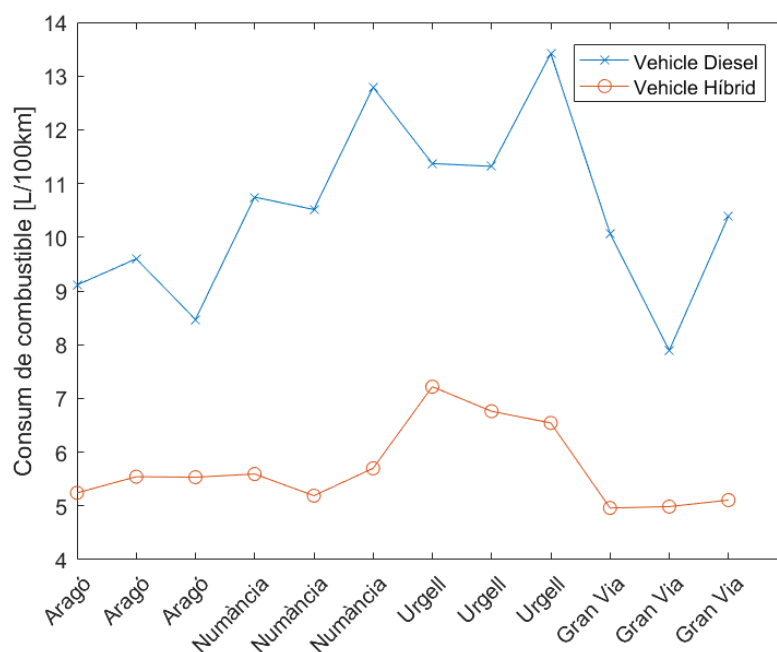


Fig. 6.18 Comparació dels consums obtinguts amb vehicle Dièsel i amb vehicle Híbrid.

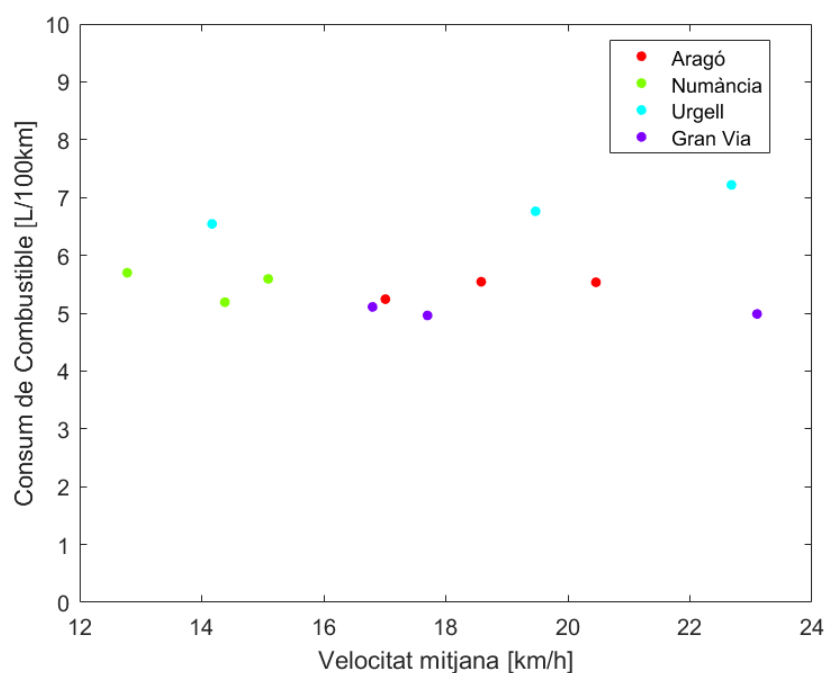


Fig. 6.19 Consum de combustible d'un vehicle híbrid en front de la seva velocitat mitjana.

Per altra banda, cal analitzar que succeeix amb les emissions. En la Fig. 6.20 es mostra un gràfic similar a l'utilitzat per mostrar la comparació de consums, però en aquest cas presenta una comparació de les emissions de NO<sub>x</sub> i PM. En l'apartat d'emissions de NO<sub>x</sub>, es pot observar un descens generalitzat i força pronunciat, que de mitjana se situa en el 58 %. La

disminució de la variabilitat entre cicles de la mateixa Via, però no és tan clara com en el cas dels consums i per tant únicament es constata que la reducció dels NOx a l'utilitzar un vehicle híbrid és notable.

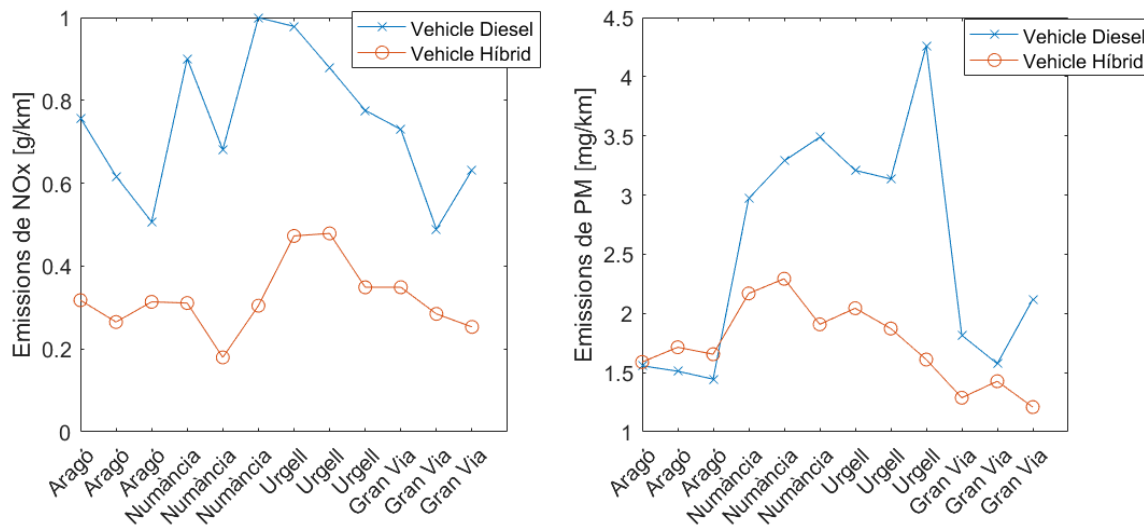


Fig. 6.20 Comparació de les emissions de NOx i PM del vehicle Dièsel amb l'Híbrid.

Pel que fa a les PM, aquesta reducció no succeeix de forma generalitzada, ja que en el Carrer Aragó el vehicle Híbrid registra unes emissions més altes que el Dièsel i en la Gran Via, la millora és poc accentuada. No s'ha trobat una explicació clara de per què és així, en tot cas, val la pena remarcar que en el cas del Carrer Aragó, les emissions de PM del vehicle Dièsel ja eren molt baixes de per si i per tant tampoc és impensable que, tenint en compte que el vehicle Híbrid també fa ús del motor Dièsel, les emissions generades puguin ser similars a les del vehicle Dièsel pur. Malgrat tot, la reducció mitjana de les emissions de PM amb vehicle Híbrid se situa en un 34 %.

Finalment, cal remarcar que en els cicles Híbrids s'ha aconseguit un ús mitjà del motor elèctric corresponent al 55% del temps, sense apreciar-se diferències destacables pel que fa a aquesta dada entre les diferents vies estudiades.

#### Dimensionament del consum i les emissions en els carrers estudiats

Per acabar amb la presentació dels resultats, es mostren les dades obtingudes en el dimensionament de les vies estudiades, que consisteix en multiplicar els totals obtinguts de consum i emissions en cada cicle per la IMH de la via obtinguda en la mateixa franja horària en que s'ha enregistrat el cicle. D'acord amb la Taula 6-21, la via en que es produeixen més emissions dins de les estudiades és, i amb molta diferència, el carrer Aragó. Val a dir que és juntament amb la Gran Via, el que s'ha estudiat en un tram més llarg. Això sumat a les elevades intensitats de vehicles que hi circulen, explica aquest resultat.

| <i><b>Carrer</b></i> | <i><b>Franja horària</b></i> | <i><b>IMH</b></i> | <i><b>Consum total [L]</b></i> | <i><b>Nox [kg]</b></i> | <i><b>PM [g]</b></i> |
|----------------------|------------------------------|-------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------|
| <b>Aragó</b>         | Matí                         | 3270              | 1315                           | 10,92                  | 22,47                |
|                      | Migdia                       | 3120              | 1309                           | 8,41                   | 20,61                |
|                      | Tarda                        | 3036              | 1137                           | 6,80                   | 19,39                |
| <b>Numància</b>      | Matí                         | 1410              | 229                            | 1,92                   | 6,33                 |
|                      | Migdia                       | 1206              | 208                            | 1,35                   | 6,50                 |
|                      | Tarda                        | 1362              | 268                            | 2,10                   | 7,32                 |
| <b>Urgell</b>        | Matí                         | 1896              | 259                            | 2,23                   | 7,30                 |
|                      | Migdia                       | 1800              | 292                            | 2,26                   | 8,07                 |
|                      | Tarda                        | 1974              | 311                            | 1,56                   | 8,56                 |
| <b>Gran Via</b>      | Migdia                       | 2010              | 640                            | 3,96                   | 12,76                |
|                      | Tarda                        | 2010              | 675                            | 4,10                   | 13,76                |

Taula 6-21 Valors totals de consum i emissions estimats a cada Via.

## Conclusions

S'ha efectuat la caracterització de diferents cicles de conducció a la ciutat de Barcelona amb dades reals obtingudes a partir d'un treball de camp i s'ha pogut estimar el consum de combustible i les emissions de contaminants produïdes en aquests cicles per un vehicle Dièsel utilitzant un programa de simulació.

A partir del resultat de les simulacions, s'han pogut observar:

- El consum de combustible és més elevat com més lent és el cicle i que per tant, el trànsit i la congestió vial fan augmentar el consum.
- El pendent de la via té una incidència destacable en el càlcul del consum, fins i tot quan aquest és reduït. A més, l'augment del consum degut a pendents positius s'ha demostrat molt superior a la disminució comparativa que es produeix en el consum quan es circula en vies de pendent negatiu.
- Les simulacions efectuades considerant la velocitat mitjana dels cicles, és a dir, suposant un cicle a velocitat constant, han portat a uns resultats de consum de combustible clarament inferiors als obtinguts al considerar el perfil de velocitats real. A més, els resultats han quedat agrupats en un interval molt reduït per diferents velocitats mitjanes i sense que es vegi afectat per el pendent.
- S'ha observat una relació entre les emissions d'Òxids de Nitrogen i Partícules en Suspensió, i el consum de combustible del vehicle, de manera que, a major consum, més grans són les emissions. Aquesta relació, però, no s'ha pogut atribuir directament al pendent de la via o a la velocitat mitjana del cicle. Per tant per avaluar el consum de combustible dels vehicles i l'emissió de contaminants és necessari tenir en compte el cicle de conducció real així com el pendent de la via.
- S'ha observat que la utilització d'un vehicle Dièsel al que se li ha introduït la tecnologia híbrida redueix el consum i les emissions de contaminants. Així també s'ha constatat que les emissions d'aquests vehicles no depenen del valor de la velocitat mitjana. S'ha estimat que utilitzant la tecnologia híbrida, les emissions de NOx es poden reduir un 58 %, mentre que les de PM disminuirien un 38 %.

S'han obtingut el flux de vehicles per les vies estudiades a partir de un treball de camp. Les dades obtingudes s'han validat a partir de les dades de IMD de l'Ajuntament de Barcelona.

S'ha obtingut el consum de combustible i l'emissió de contaminants de tot el flux de vehicles en diferents franges horàries per les vies estudiades.

Amb aquest mètode, coneixent els cicles de conducció de cada via d'una ciutat, el flux que hi circula i el parc de vehicles permetria l'elaboració d'un mapa detallat de les emissions de contaminants, produïdes pel trànsit rodat a la ciutat d'estudi.

# Bibliografia

## Referències bibliogràfiques

A continuació es presenten les referències bibliogràfiques utilitzades en el treball, segons l'ordre d'aparició:

- [1] WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease*.
- [2] SUNYER, J., ESNAOLA, M., ALVAREZ-PEDREROL, M., FORNS, J., RIVAS, I., LÓPEZ-VICENTE, M., QUEROL, X. *Association between Traffic-Related Air Pollution in Schools and Cognitive Development in Primary School Children: A Prospective Cohort Study*. PLOS Medicine, 2015 12(3)
- [3] C PÉREZ, L., SUNYER, J., & KÜNZLI, N. *Estimación de los beneficios en salud y económicos asociados a la reducción de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de Barcelona (España)*. Gaceta Sanitaria, 23(4), 287-294, 2009.
- [4] AGENCIA EUROPEA DEL MEDIO AMBIENTE. *La legislación europea en relación con el aire*. 2013. [[www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2013/articulos/la-legislacion-europea-en-relacion](http://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2013/articulos/la-legislacion-europea-en-relacion), Gener 2018].
- [5] WIPKE. *ADVISOR 2.1: A user-friendly advanced powertrain simulation using a combined backward/forward approach*. IEEE Transactions on Vehicular Technology [0018-9545] 1999 vol.:48 núm:6 pàg.:1751
- [6] AJUNTAMENT DE BARCELONA. *Dades bàsiques de mobilitat 2015*. [<http://mobilitat.ajuntament.barcelona.cat/ca/documentació>, Octubre 2016] .
- [7] AJUNTAMENT DE BARCELONA. DEPARTAMENT D'ESTADÍSTICA. *Cens de Vehicles, tipologia dels vehicles 2012-2016*. [<http://www.bcn.cat/estadistica/catala/dades/anuari/cap15/C1509010.htm>, Desembre 2017]
- [8] EUROPEAN ENVIROMENT AGENCY. *EMEP/EEA air pollutant emission inventory*. Publications Office of the European Union, 2016. 1.A.3.b.i-iv Road transport.

## Annexos

### I) Imatges, figures i taules complementàries

En aquest annex s'exposa una mostra de diferents imatges, figures i taules que s'han obtingut durant l'elaboració del treball però que no s'ha considerat oportú incloure-les en el cos de la memòria. S'han agrupat les figures segons l'ordre d'aparició en la memòria de la temàtica en que estan relacionades.

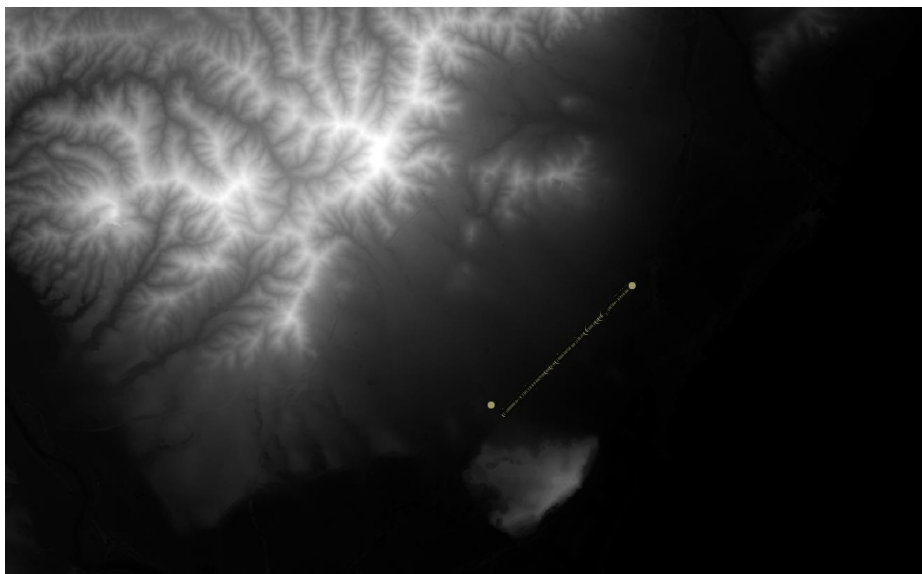
#### Procés d'experimentació

| <b>Sessió 1</b>                    |                                 |   |                      |
|------------------------------------|---------------------------------|---|----------------------|
| <b>Dia de la setmana:</b>          |                                 | <b>Data:</b>  |                      |
| <b>Franja Horària:</b>             | Matí (8:00 – 9:30)              | Migdia (12:00- 13:30)                               | Tarda (17:30- 19:00) |
| <b>Hora Inici:</b>                 |                                 | <b>Hora Final</b>                                   |                      |
| <b>Punt comptatge de vehicles:</b> | <b>C/Paris –<br/>C/ Còrsega</b> | <b>Nombre de vehicles<br/>comptats en 5 minuts:</b> |                      |
| <b>Sessió 2</b>                    |                                 |   |                      |
| <b>Dia de la setmana:</b>          |                                 | <b>Data:</b>  |                      |
| <b>Franja Horària:</b>             | Matí (8:00 – 9:30)              | Migdia (12:00- 13:30)                               | Tarda (17:30- 19:00) |
| <b>Hora Inici:</b>                 |                                 | <b>Hora Final</b>                                   |                      |
| <b>Punt comptatge de vehicles:</b> | <b>C/Paris –<br/>C/ Còrsega</b> | <b>Nombre de vehicles<br/>comptats en 5 minuts:</b> |                      |
| <b>Sessió 3</b>                    |                                 |   |                      |
| <b>Dia de la setmana:</b>          |                                 | <b>Data:</b>  |                      |
| <b>Franja Horària:</b>             | Matí (8:00 – 9:30)              | Migdia (12:00- 13:30)                               | Tarda (17:30- 19:00) |
| <b>Hora Inici:</b>                 |                                 | <b>Hora Final</b>                                   |                      |
| <b>Punt comptatge de vehicles:</b> | <b>C/Paris –<br/>C/ Còrsega</b> | <b>Nombre de vehicles<br/>comptats en 5 minuts:</b> |                      |

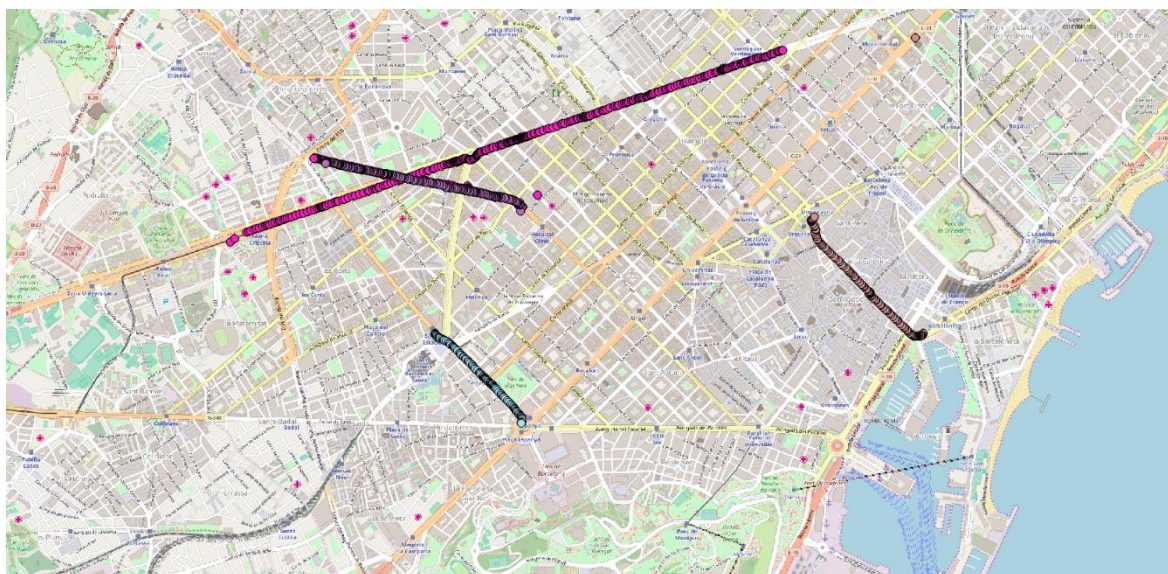
Taula 0-1. Plantilla d'obtenció de dades experimentals pel Carrer Compte d'Urgell.



### Verificació de les dades.



*Fig. I: Perfil altimètric de la ciutat de Barcelona amb punts extrems a la Gran Via superposats. La imatge s'obté amb el QGIS. Les zones fosques corresponen a alçades baixes, mentre que les més clares, corresponen als turons i pics que es troben a la ciutat i els seus voltants.*



*Fig. II Alguns dels cicles enregistrats però no caracteritzats. Són els de la Diagonal, la Via Laietana, el Carrer Tarragona i l'Avinguda de Sarrià.*

|        | Carrer      | Numància | Tarragona | Compte d'Urgell | Avinguda Sarrià | Diagonal (Besós) | Aragó | Gran Via | Via Laietana (Muntanya) |
|--------|-------------|----------|-----------|-----------------|-----------------|------------------|-------|----------|-------------------------|
| Matí   | Matí        | 1410     | 1446      | 1896            | 1326            | 1182             | 3270  | 1950     | 630                     |
|        | Corregit    | 2169     | 2225      | 2917            | 2040            | 3626             | 5031  | 3000     | 1938                    |
|        | IMH 2015    | 2133     | 3116      | 2857            | 3472            | 5428             | 5030  | 3422     | 2843                    |
|        | Diferència  | 2%       | -40%      | 2%              | -70%            | -50%             | 0%    | -14%     | -47%                    |
| Migdia | Migdia      | 1206     | 1332      | 1800            | 2106            | 1440             | 3120  | 2010     | 642                     |
|        | Corregit    | 1855     | 2049      | 2769            | 3240            | 4431             | 4800  | 3092     | 1975                    |
|        | IMH 2015    | 1910     | 2791      | 2521            | 3063            | 4919             | 4559  | 3054     | 2843                    |
|        | Diferència  | -3%      | -36%      | 9%              | 5%              | -11%             | 5%    | 1%       | -44%                    |
| Tarda  | Tarda       | 1362     | 1518      | 1974            | 1980            | 1524             | 3036  | 2010     | 588                     |
|        | Corregit    | 2095     | 2335      | 3037            | 3046            | 4689             | 4671  | 3092     | 1809                    |
|        | IMH 2015    | 2037     | 2977      | 2815            | 3421            | 4919             | 4559  | 3054     | 2843                    |
|        | Diferència  | 3%       | -27%      | 7%              | -12%            | -5%              | 2%    | 1%       | -57%                    |
| Total  | Error total | 2%       | 35%       | 6%              | 29%             | 22%              | 2%    | 6%       | 49%                     |
|        | Dades 2015  | 31832    | 46513     | 42015           | 51055           | 84816            | 78597 | 52653    | 43732                   |

Taula 0-2 Taula resum de la verificació de les IMH obtingudes experimentalment.

## Tractament de les Dades

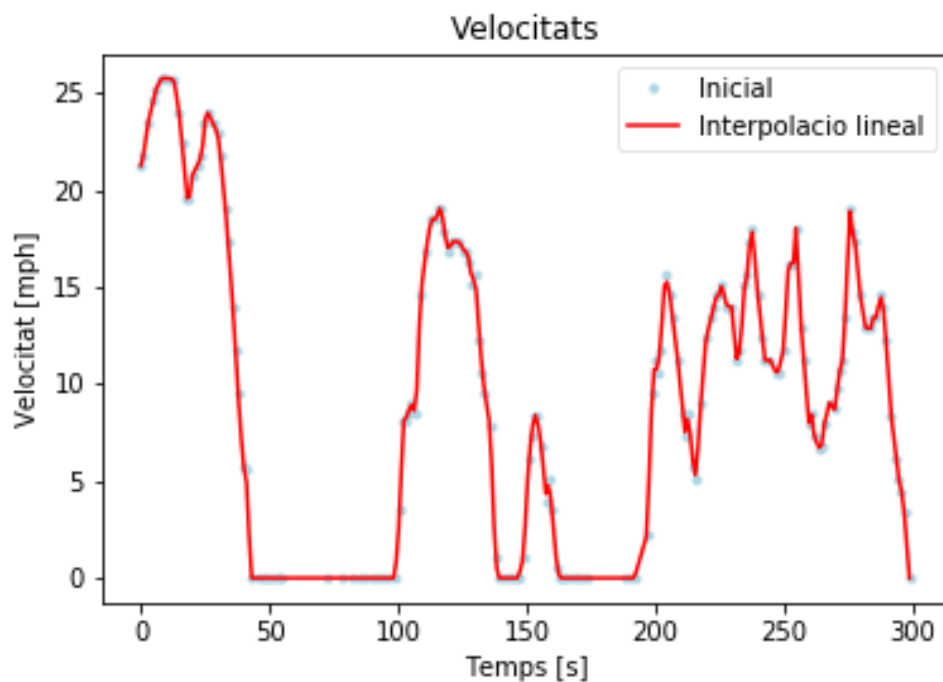


Fig. III Interpolació lineal de les velocitats obtingudes en un cycle del Carrer Urgell per obtenir mostres a cada segon.

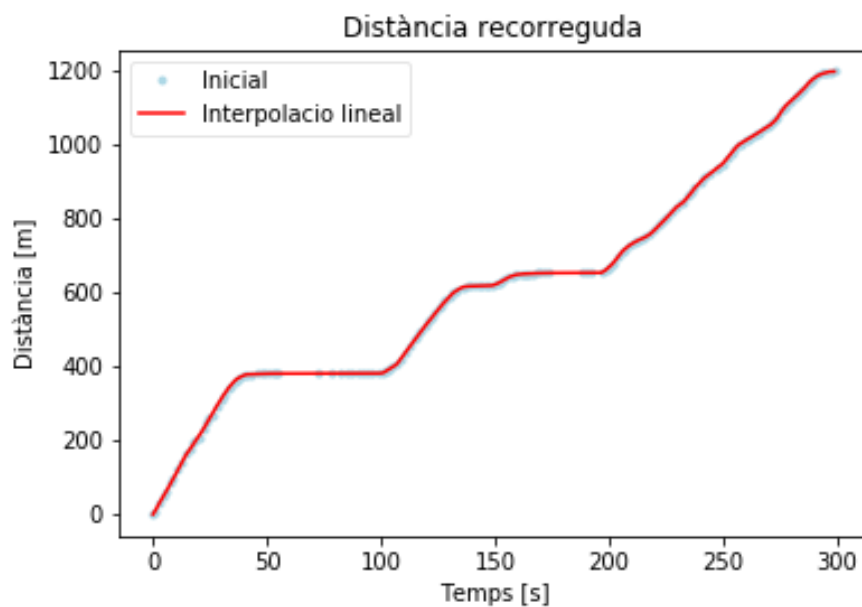


Fig. IV Interpolació lineal efectuada a un cycle del Carrer Urgell per obtenir mostres de distància recorreguda a cada segon.

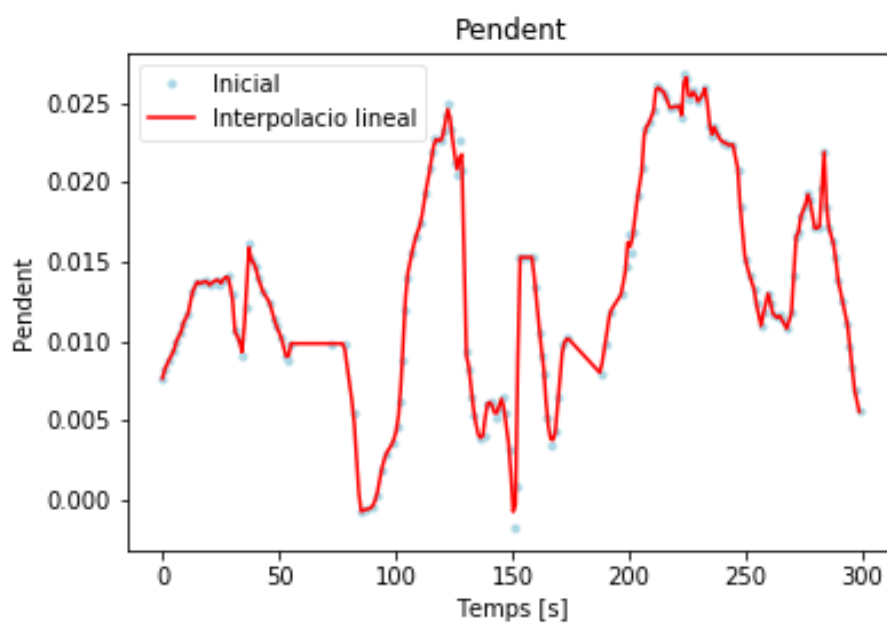


Fig. V Interpolació lineal efectuada a un cicle del Carrer Urgell per obtenir mostres del pendent de la via a cada segon.

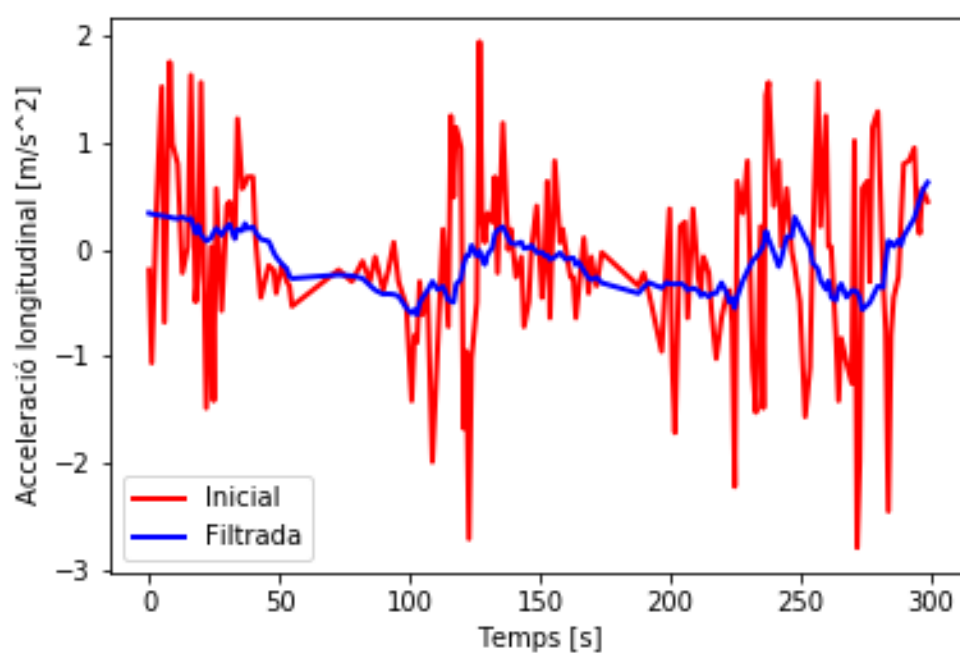


Fig. VI Acceleracions obtingudes en un cicle del Carrer Urgell.

## Resultats de les simulacions

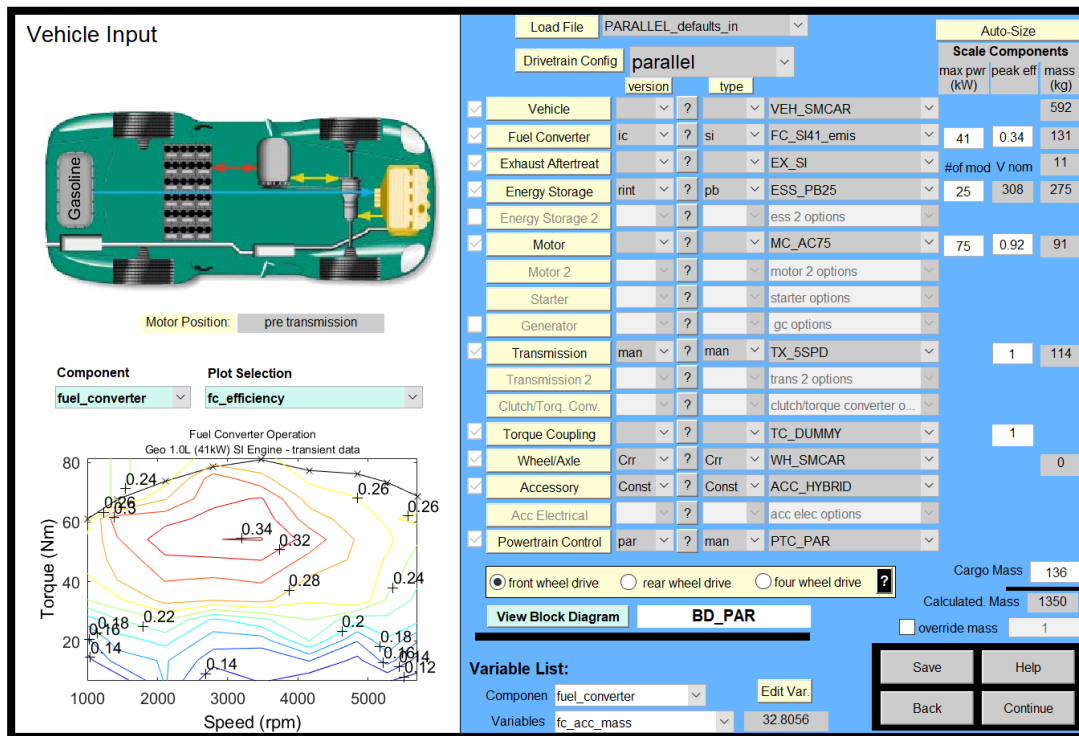


Fig. VII Finestra de selecció de característiques del Vehicle a l'Advisor.

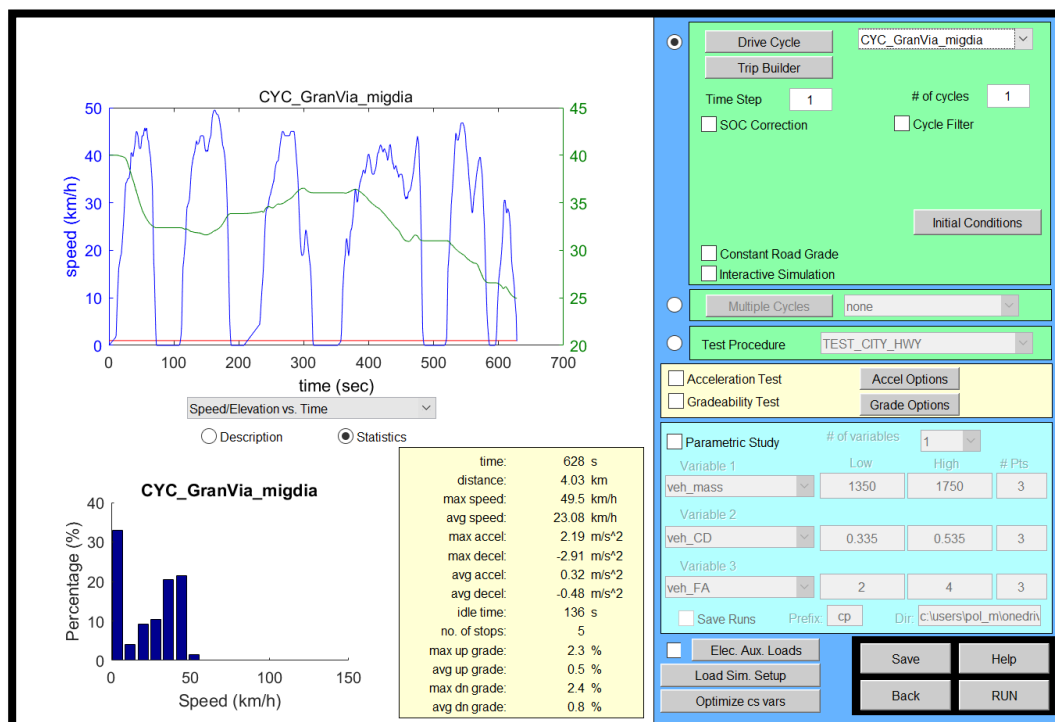


Fig. VIII Finestra de característiques del Cicle a l'Advisor. En aquest cas està seleccionat el cicle del migdia obtingut a la Gran Via.

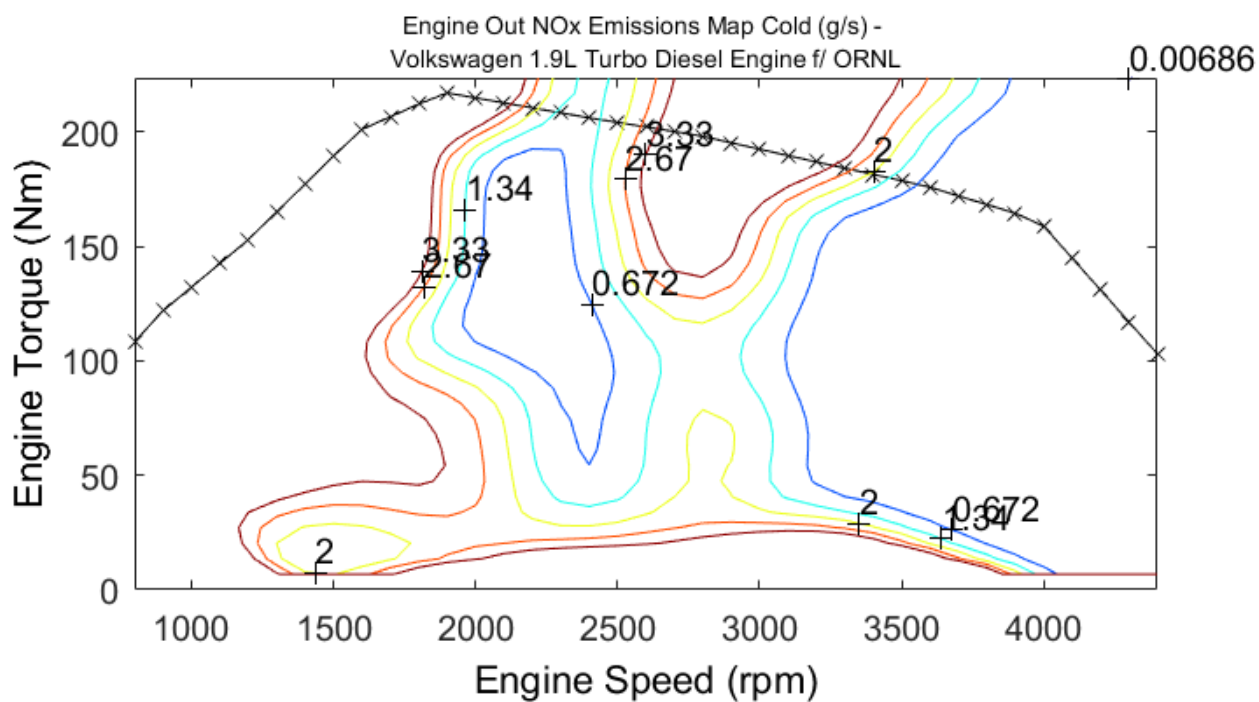


Fig. IX Mapa d'emissions de NOx del Motor simulat.

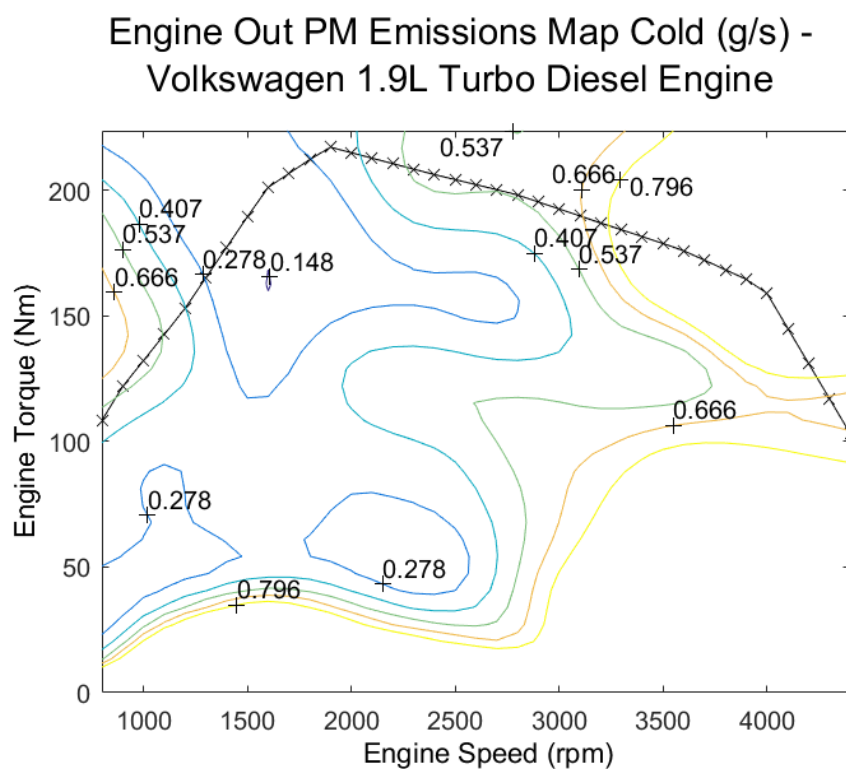


Fig. X Mapa d'emissions de PM del motor simulat.



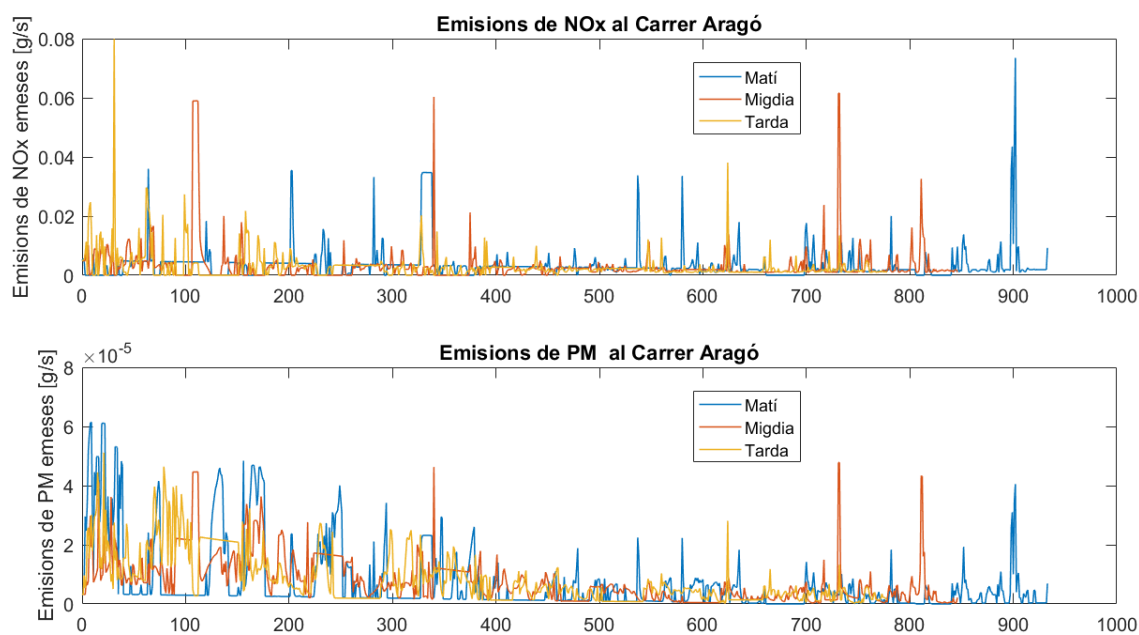


Fig. XI Emissions de NOx i PM obtingudes en el Carrer Aragó. Simulació amb tots els paràmetres activats.

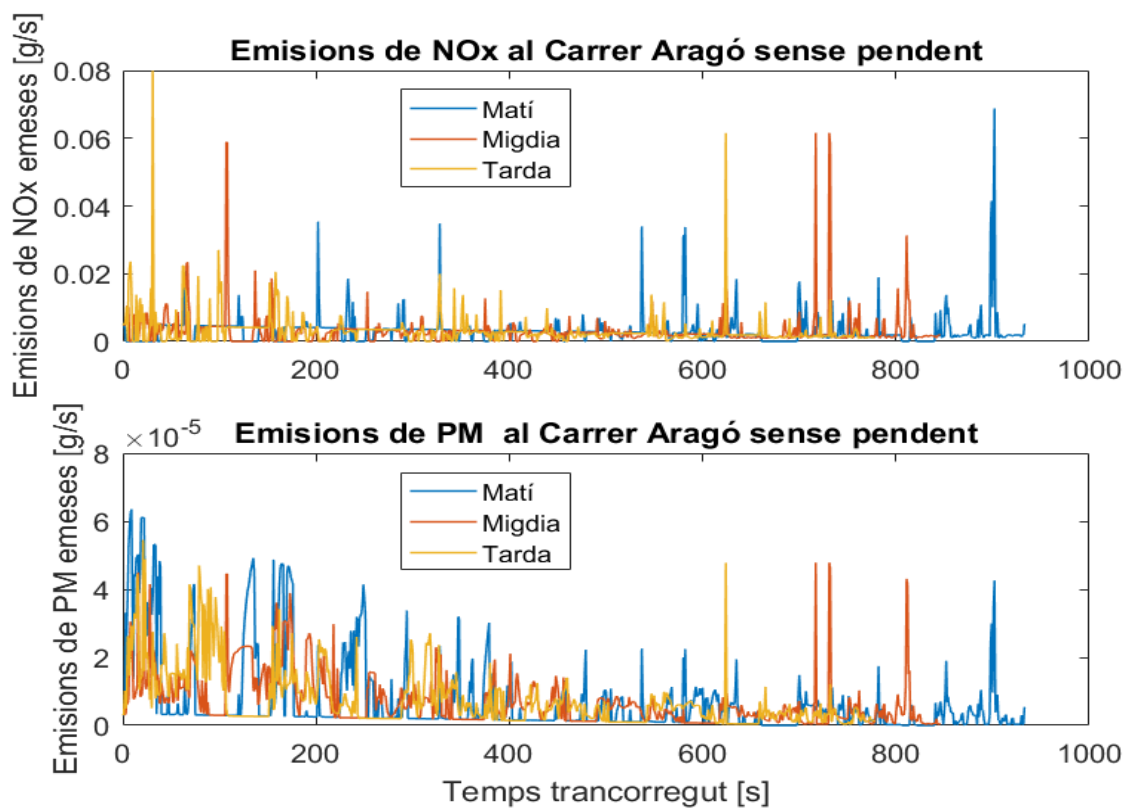


Fig. XII Emissions de NOx i PM obtingudes en el Carrer Aragó. Simulació sense pendent..



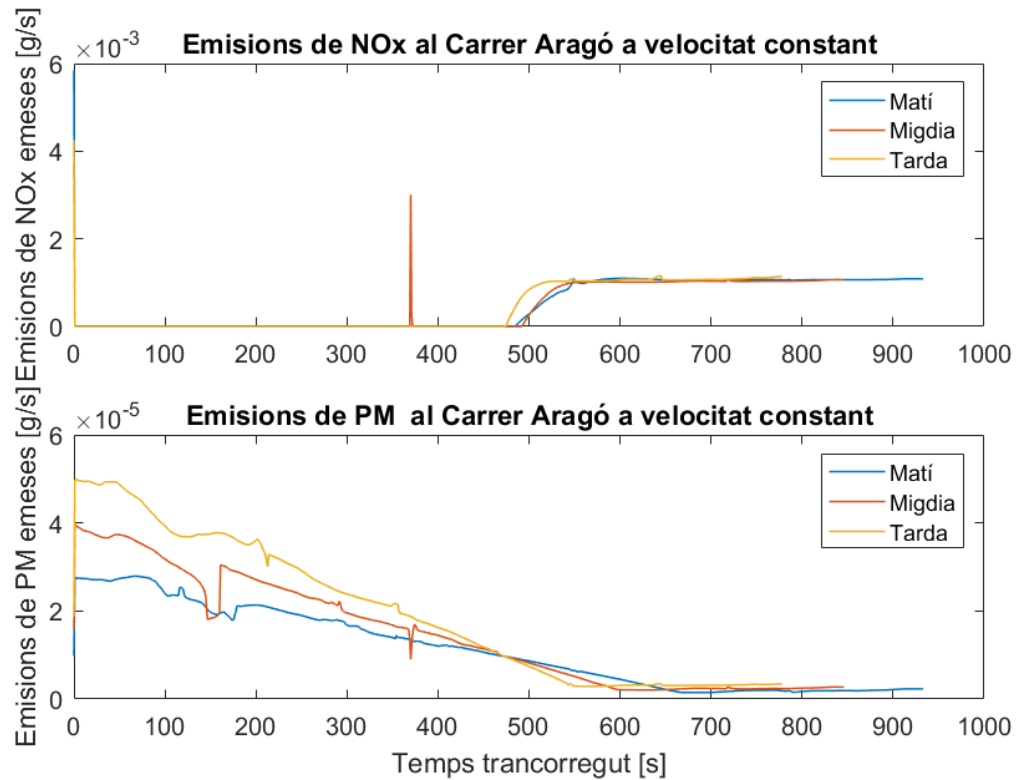


Fig. XIII Emissions de NOx i PM obtingudes en el Carrer Aragó. Simulació a velocitat constant.

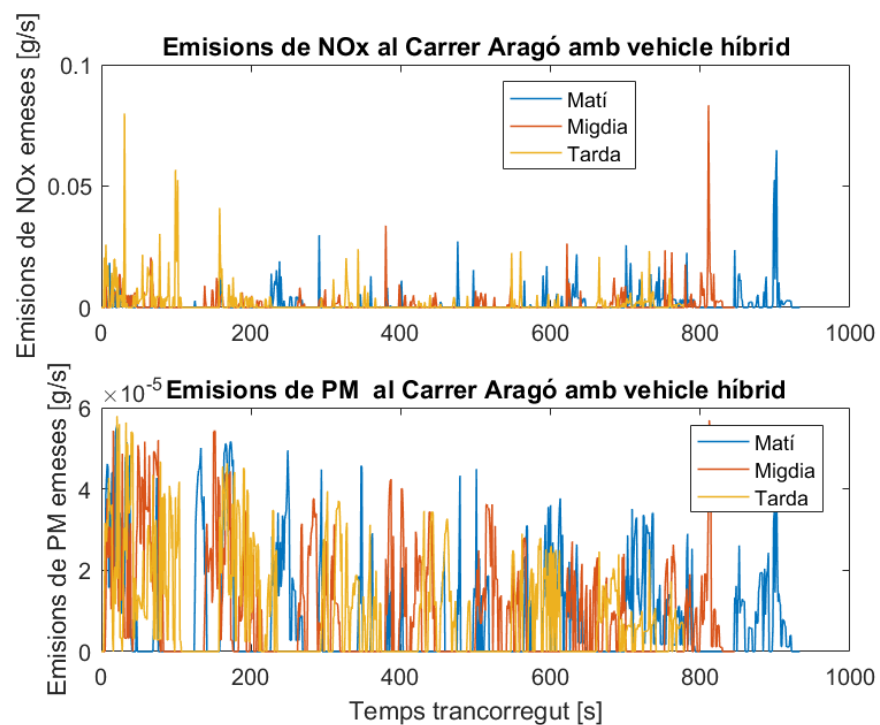


Fig. XIV Emissions de NOx i PM obtingudes en el Carrer Aragó. Simulació amb vehicle híbrid.

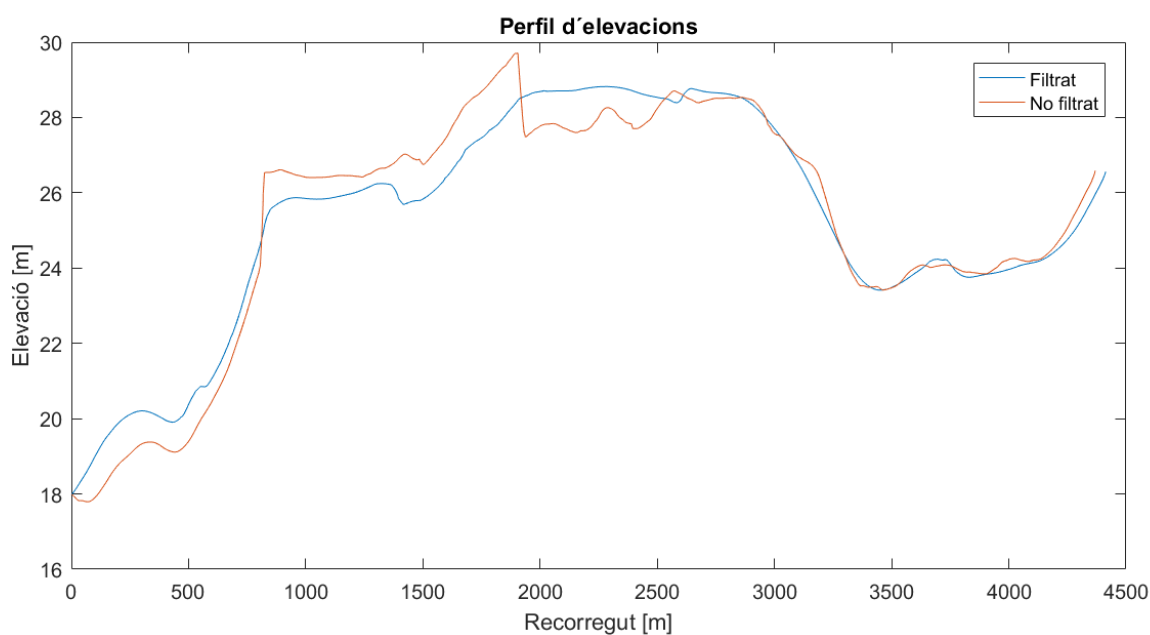


Fig. XV Comparativa de perfils d'elevacions al Carrer Aragó, segons s'hi s'ha filtrat o no el pendent.

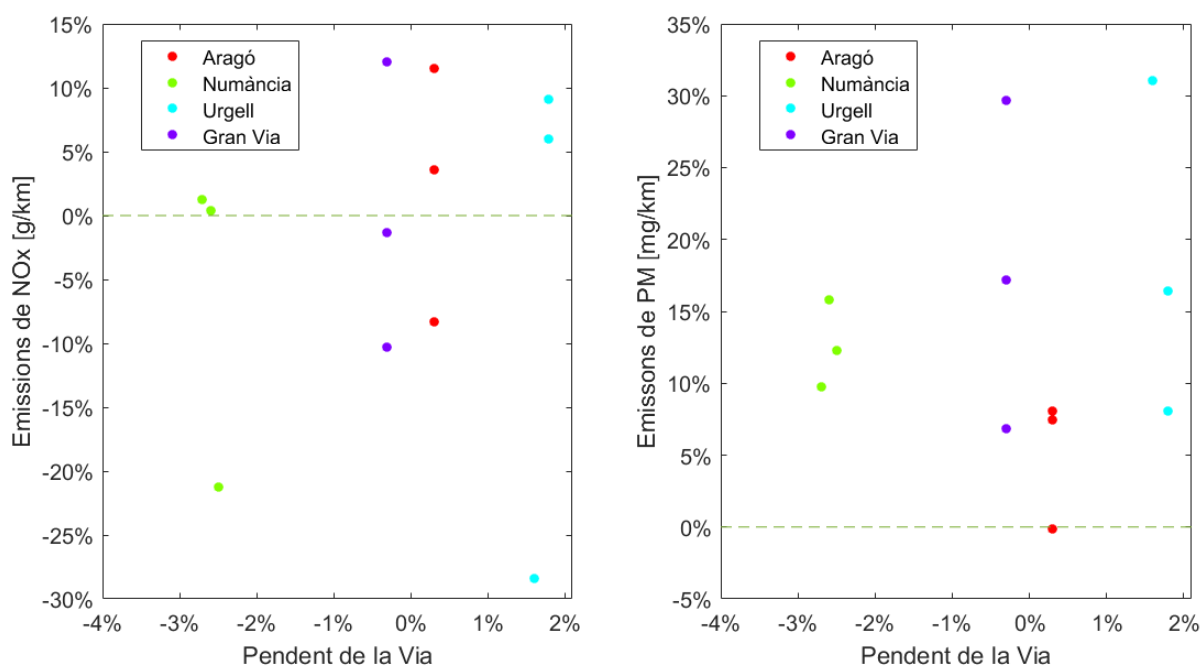


Fig. XVI Variació de les emissions segons si es té en compte el pendent o no.

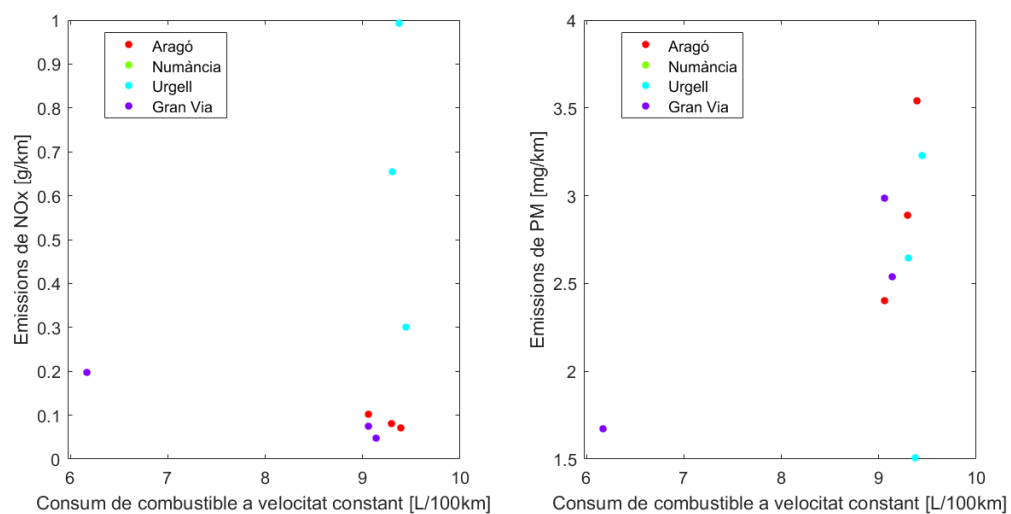


Fig. XVII Distribució de les emissions obtingudes al suposar cicles a velocitat constant.

## II) Codi utilitzat en el treball

### Codi Python

En el transcurs del treball, s'ha hagut de programar diferents rutines, tant per la fase de tractament de dades com per la simulació i obtenció de resultats. En el cas del tractament de dades, s'ha utilitzat el llenguatge de programació Python i tot el codi s'ha centrat en depurar les dades obtingudes amb l'aplicació per tal de que puguin ser utilitzades en el Advisor. A continuació es presenta un recull de les funcions utilitzades més importants.

```
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
import numpy as np

def discretitza(d,nom_fitxer): #Discretitza el document (que no hi hagi coo
rdenades repetides i posa comptadors a zero)
    camps = ('Latitud', 'Longitud','AccX[m/s2]', 'AccY[m/s2]', 'AccZ[m/s2]'
, 'Velocidad[m/s]', 'Recorrido[m]', 'Crono[ms]', 'PrecisionGPS[m]')
    nfiles = len(d)
    i = 1
    lat = []
    lon = []
    ax = []
    ay = []
    az = []
    v = []
    rec = []
    crono = []
    while i < nfiles:
        if [d[camps[0]][i]] != [d[camps[0]][i-1]] and [d[camps[1]][i]] != [
d[camps[1]][i-1]]:
            lat += [d[camps[0]][i]]
            lon += [d[camps[1]][i]]
            ax += [d[camps[2]][i]]
            ay += [d[camps[3]][i]]
            az += [d[camps[4]][i]]
            v += [d[camps[5]][i]]
            rec += [d[camps[6]][i]]
            crono += [d[camps[7]][i]]
            i += 1

    data = {camps[0] : lat, camps[1]:lon,camps[2]:ax ,camps[3]:ay,camps[4]:
az,camps[5]:v,camps[6]:rec,camps[7]:crono}
    df = pd.DataFrame(data)
    df.to_csv(nom_fitxer, sep = ';')
    df = zeros(df)
    return df
df = discretitza(d,'Arago_tarda.txt')
```

Fig. XVIII Funció utilitzada per a obtenir la taula de dades sense valors de GPS repetits.

```

def rec_a_zero(fitxer_origen, fitxer_desti):
    df= pd.read_csv(fitxer_origen, sep=',')
    base = df.loc[0, 'Recorrido[m]']
    for i in range(len(df)):
        df.loc[i, 'Recorrido[m]'] = df.loc[i, 'Recorrido[m]'] - base
    df.to_csv(fitxer_desti, sep= ';')
    return df

def temps_a_zero(fitxer_origen, fitxer_desti):
    df= pd.read_csv(fitxer_origen, sep=';')
    base = df.loc[0, 'Crono[ms]']
    for i in range(len(df)):
        df.loc[i, 'Crono[ms]'] = (df.loc[i, 'Crono[ms]'] - base)/1000
    df.to_csv(fitxer_desti, sep= ';')
    return df

def zeros(df): #Fa que crono i recorrido es posin a zero
    rec_base = df.loc[0, 'Recorrido[m]']
    temps_base = df.loc[0, 'Crono[ms]']
    for i in range(len(df)):
        df.loc[i, 'Recorrido[m]'] = df.loc[i, 'Recorrido[m]'] - rec_base
        df.loc[i, 'Crono[ms]'] = (df.loc[i, 'Crono[ms]'] - temps_base)/1000
    return df

```

Fig. XIX Funcions utilitzades per a reinicialitzar comptadors.

```

def pendent(df, fitxer_desti):
    pendent = [0]
    columnes = ['X', 'Y', 'AccX[m/s2]', 'AccY[m/s2]', 'AccZ[m/s2]', 'Crono[ms]',
                'Latitud', 'Longitud', 'Recorrido[m]', 'Velocidad[m/s]', 'Cotas',
                'Pendent']
    cotes = df['Cotas']
    for i in range(len(df)-5):
        x = df.loc[i, 'Recorrido[m]']
        x1= df.loc[i+5, 'Recorrido[m]']
        y = cotes[i]
        y1 = cotes[i+5]
        pendent += [(y1-y)/(x1-x)]
    pendent += [0,0,0,0]
    filtrat = scipy.signal.savgol_filter(pendent, 15, 1)
    df['Pendent'] = filtrat
    df = df[columnes]
    df.to_csv(fitxer_desti, sep= ';')
    fig = plt.figure(1)
    ax = fig.add_subplot(111)
    ax.plot(df['Crono[ms]'], df['Pendent'], color='lightblue', linewidth=2)
    ax.plot(df['Crono[ms]'], filtrat, color='red', linewidth=2)
    plt.show()
    return df
pendent(d, 'Arago_tarda_AmbPendent.txt')

```

Fig. XX Funció utilitzada per a calcular el pendent.

```

import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
import numpy as np
from scipy.interpolate import InterpolatedUnivariateSpline as inter
import scipy.signal

def interpolacio(fitxer_origen, fitxer_desti):

    #Inicialització de variables
    d = pd.read_csv(fitxer_origen, sep=';')
    crono = d['Crono[ms]']
    vel = 2.23694*d['Velocidad[m/s]'] # es transforma la velocitat a mph, j
    a que es l'unitat que utilitza advisor
    pen = d['Pendent']
    rec = d['Recorrido[m]']
    #Interpolacions
    temps = int(round(max(crono), 0))
    x = np.linspace(min(crono), max(crono), num=temps)
    vel_inter = np.interp(x, crono, vel)
    pen_inter = np.interp(x, crono, pen)
    rec_inter = np.interp(x, crono, rec)

    #filtratge del pendent (NO es fa)
    #pen_fil = scipy.signal.savgol_filter(pen_inter, 11, 1)
    pen_fil = pen_inter

    #Gràfics per comprovar la validesa de la interpolació
    #Velocitat
    fig = plt.figure(1)
    ax = fig.add_subplot(111)
    ax.plot(crono, vel, '.', color='lightblue', label = 'Inicial' )
    ax.plot(x, vel_inter, color='red', label= 'Interpolacio lineal')
    plt.title('Velocitats')
    plt.xlabel('Temps [s]')
    plt.ylabel('Velocitat [mph]')
    leg = plt.legend(loc='best', fancybox=True)
    leg.get_frame().set_alpha(0.5)

    #Pendent
    fig = plt.figure(2)
    ay = fig.add_subplot(111)
    ay.plot(crono, pen, '.', color='lightblue', label = 'Inicial' )
    ay.plot(x, pen_inter, color='red', label= 'Interpolacio lineal')
    #ay.plot(x, pen_fil, color = 'yellow', label = 'Filtrat')
    plt.title('Pendent')
    plt.xlabel('Temps [s]')
    plt.ylabel('Pendent')
    leg2 = plt.legend(loc='best', fancybox=True)
    leg2.get_frame().set_alpha(0.5)

    #Recorreut
    fig = plt.figure(3)
    ay = fig.add_subplot(111)
    ay.plot(crono, rec, '.', color='lightblue', label = 'Inicial' )
    ay.plot(x, rec_inter, color='red', label= 'Interpolacio lineal')
    plt.title('Distància recorreguda')
    plt.xlabel('Temps [s]')
    plt.ylabel('Distància [m]')
    leg3 = plt.legend(loc='best', fancybox=True)
    leg3.get_frame().set_alpha(0.5)
    plt.show()

    #Creació nou dataframe
    camps = ('Crono[ms]', 'Velocidad[mph]', 'Pendent', 'Recorrido[m]')
    dades = {camps[0] : x ,camps[1] : vel_inter, camps[2] : pen_fil, camps[
3] : rec_inter}
    p = pd.DataFrame(dades)
    p.to_csv(fitxer_desti, sep = ';')

pd = interpolacio('Arago_tarda_AmbPendent.txt', 'Arago_tarda_definitiu.txt')

```

Fig. XXI Funció utilitzada per interpol·lar les resultats i crear la matriu definitiva que s'utilitzarà a l'Advisor.

## Codi Matlab

Un cop obtinguda la matriu definitiva de dades, tota la programació passa a fer-se amb Matlab i és amb aquesta eina que s'han elaborat la major part dels gràfics. Com que la major part del codi generat és recurrent, es presenten únicament tres scripts, corresponents a la generació d'un cicle amb Advisor, l'obtenció dels resultats d'una simulació i la generació de gràfics.

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% FILE ID INFO
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
cyc_description='Fitxer amb el cicle de conduccio generat un mati al Carrer Aragó de Barcelona';
cyc_version=2003; % version of ADVISOR for which the file was generated
cyc_proprietary=0; % 0=> non-proprietary, 1=> proprietary, do not distribute
cyc_validation=0; % 0=> no validation, 1=> data agrees with source data,
% 2=> data matches source data and data collection methods have been verified
disp(['Data loaded: CYC_Arago_mati- ',cyc_description])
load CYC_Arago_mati.mat

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% SPEED AND KEY POSITION vs. time
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% SPEED: load variable 'cyc_mph', 2 column matrix with time in the first column, speed in mph
% in the second column. Most cycle files load a *.mat file, which is a matlab file
% you can creat by issuing the command 'save cyc_skeleton cyc_mph'
% We use the *.mat file to conserve space and load the data quicker.
% If you save your data to a *.mat file, use this command to load: 'load CYC_SKELETON.mat'

if cyc_mph(1,1)~=0 % add a time equal to zero term if not present
    cyc_mph=[0 cyc_mph(1,2);cyc_mph];
end

% KEY ON: keep key in 'on' position throughout cycle ('1' in the 2nd column => 'on')
% The key on is set to 'off' if you want to do a vehicle soak, such as in the
% Federal Test Procedure between bags 2 and 3. It should be defined at the same time
% steps as the vehicle speed.
vc_key_on=[cyc_mph(:,1) ones(size(cyc_mph,1),1)];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% OTHER DATA
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Size of 'window' used to filter the trace with centered-in-time averaging;
% higher numbers mean more smoothing and less rigorous following of the trace.
% Used when cyc_filter_bool=1
cyc_avg_time=3; % (s)
cyc_filter_bool=0; % 0=> no filtering, follow trace exactly; 1=> smooth trace%
% cyc_grade=0; % (decimal, ex. 0.01 would be used if a 1% grade is desired)
% if a constant grade is wanted then cyc_grade can be set to that grade
% if a variable grade is desired then cyc_grade has to contain distance and grade info.
% the first column of cyc_grade would be the distance in meters and the second column would
% be the grade at that distance.
cyc_elevation_init=18; %the initial elevation in meters.

% A non-constant road-grade can be defined, as shown below.
% First column is distance (m) second column is grade (decimal, or %/100)

if size(cyc_grade,1)<2
    % convert cyc_grade to a two column matrix, grade vs. dist
    cyc_grade=[0 cyc_grade; 1 cyc_grade]; % use this for a constant roadway grade
end

% 2-July-2001 [MPO] added for variable cargo-mass
% A non-constant cargo-mass can be defined, as shown below.
% First column is distance (m) second column is mass (kg)

% A constant cargo-mass:
% First column is distance (m) second column is mass (kg)
cyc_cargo_mass=[0 0
    1 0];

```

Fig. XXII Codi Matlab per la generació d'un cicle de conducció a l'Advisor.

```
load('Arago_Mati.mat')
```

### Creació de noves Variables.

Els vectors es converteixen en matrius [mati migdia tarda] i a les matrius s'hi afegeix el sufix \_mati/migdia/tarda

```
temps_mat = [t]; %vector de temps
elevacio_mat = [elevation]; %vector d'elevacio
pendent_mat = [grade]; %vector de pendent
distancia_mat = [distance]; %vector de distancia
emissions_mat = emis; %matriu emissions [g/s] HC/CO/NOx/PM
litres_mat = [liters]; %litres consumits de fuel acumulats
velocitat_mat = [kpha]; %velocitat assolida pel vehicle [km/h]
distancia_rec = dist*1.60934; %distancia recorreguda [km]
consum = liters(end)/(dist*1.60934)*100;

%Guardem variables i tanquem pestanya

save('resultats.mat', 'temps_mat', 'elevacio_mat', 'pendent_mat', 'distancia_mat'...
    , 'emissions_mat', 'litres_mat', 'velocitat_mat', 'distancia_rec', 'consum')
```

### Afegim dades migdia

```
load('Arago_Migdia.mat')
load('resultats.mat')

temps_mig = [t]; %vector de temps
elevacio_mig = [elevation]; %vector d'elevacio
pendent_mig = [grade]; %vector de pendent
distancia_mig = [distance]; %vector de distancia
emissions_mig = emis; %matriu emissions [g/s] HC/CO/NOx/PM
litres_mig = [liters]; %litres consumits de fuel acumulats
velocitat_mig = [kpha]; %velocitat assolida pel vehicle [km/h]
distancia_rec = [distancia_rec dist*1.60934]; %distancia recorreguda [km]
consum = [consum liters(end)/(dist*1.60934)*100]; %Consum en litres per 100 Km

save('resultats.mat', '*_mat', 'temps_mig', 'elevacio_mig', 'pendent_mig'...
    , 'distancia_mig', 'emissions_mig', 'litres_mig', 'velocitat_mig'...
    , 'distancia_rec', 'consum')
```

### Afegim dades tarda

```
load('Arago_Tarda.mat')
load('resultats.mat')

temps_tar = [t]; %vector de temps
elevacio_tar = [elevation]; %vector d'elevacio
pendent_tar = [grade]; %vector de pendent
distancia_tar = [distance]; %vector de distancia
emissions_tar = emis; %matriu emissions [g/s] HC/CO/NOx/PM
litres_tar = [liters]; %litres consumits de fuel acumulats
velocitat_tar = [kpha]; %velocitat assolida pel vehicle [km/h]
distancia_rec = [distancia_rec dist*1.60934]; %distancia recorreguda [km]
consum = [consum liters(end)/(dist*1.60934)*100]; %Consum en litres per 100 Km

save('resultats.mat', '*_mat', '*_mig', 'temps_tar', 'elevacio_tar'...
    , 'pendent_tar', 'distancia_tar', 'emissions_tar', 'litres_tar',...
    , 'velocitat_tar', 'distancia_rec', 'consum')
```

Published with MATLAB® R2016b

Fig. XXIII Codi utilitzat per generar un fitxer de dades amb els resultats obtinguts en un cicle.



```
load resultats.mat
close all
hold off
```

#### Gràfic velocitat - temps

```
figure(1)
subplot(2,1,1)
plot(temps_mat,velocitat_mat,'LineWidth',1.5)
title('Gràfic velocitat - temps al Carrer Aragó')
ylabel('Velocitat [km/h]')
xlabel('Temps [s]')
hold on
plot(temps_mig,velocitat_mig,'LineWidth',1.5)
plot(temps_tar,velocitat_tar,'LineWidth',1.5)
legend('Matí','Migdia','Tarda')
hold off
```

#### Gràfic velocitat - recorregut

```
subplot(2,1,2)
plot(distancia_mat,velocitat_mat,'LineWidth',1.5)
title('Gràfic velocitat - distància recorreguda al Carrer Aragó')
ylabel('Velocitat [km/h]')
xlabel('Distància recorreguda [m]')
hold on
plot(distancia_mig,velocitat_mig,'LineWidth',1.5)
plot(distancia_tar,velocitat_tar,'LineWidth',1.5)
%legend('Matí','Migdia','Tarda')
hold off
```

#### Gràfic Consum - distancia

```
figure(3)

subplot(2,1,1)
plot(distancia_mat,litres_mat,'LineWidth',1.5)
title('Consum de combustible - distància recorreguda al Carrer Aragó')
ylabel('Combustible consumit [L]')
xlabel('Distància recorreguda [m]')
hold on
plot(distancia_mig,litres_mig,'LineWidth',1.5)
plot(distancia_tar,litres_tar,'LineWidth',1.5)
legend({'Matí','Migdia','Tarda'},'location','best')
hold off

subplot(2,1,2)
plot(temps_mat,litres_mat,'LineWidth',1.5)
title('Consum de combustible - temps transcorregut al Carrer Aragó')
ylabel('Combustible consumit [L]')
xlabel('Temps [s]')
hold on
plot(temps_mig,litres_mig,'LineWidth',1.5)
plot(temps_tar,litres_tar,'LineWidth',1.5)
legend({'Matí','Migdia','Tarda'},'location','best')
hold off
```

Fig. XXIV Codi utilitzat per la generació de Gràfics.